

MIM 커패시터의 Metal 게이트 전극을 위한 TiN 박막의 건식 식각 연구

Study of dry etch characteristic of TiN thin film for metal gate electrode in MIM capacitor

박정수^a, 주영희^a, 우중창^a, 허경무^b, 위재형^b, 김창일^{ab}

^a중앙대학교 전자전기공학부 (filair@naver.com), ^b중앙대학교 재생에너지학과

초 록 : 이번 실험에서는 TiN의 건식 식각 특성을 연구하기 위해 BCl₃/Ar/N₂ 유도 결합플라즈마를 이용하였다. BCl₃와 Ar의 가스 비율이 BCl₃ (5 sccm)/Ar (15 sccm)/N (4 sccm) 인 상황에서 RF power와 DC bias, 그리고 process pressure를 식각변수로 설정하였다. TiN의 식각률은 Alpha-step 500으로 측정하였고 표면의 식각 후 화학반응은 XPS로 측정하였다.

1. 서론

반도체 공정 기술이 발전함에 따라 CMOS 소자의 크기는 점점 감소해왔다. Cell의 면적을 줄여 메모리 소자의 속도를 향상시키고 전력소모를 감소시켜 효율을 높여왔다. 그러나 동시에 많은 결점을 가져왔다. Short channel effect와 current leakage 등이 발생하여 이전 기술로는 더 이상 소자의 집적도나 동작특성 효율 개선의 한계에 부딪혔다. 또한 커패시터의 경우 40Å 두께 이하이거나 2.5μm 이상의 높이가 되어야 했다. 따라서 높은 유전상수(high-k)를 가진 물질에 대한 연구가 필요하게 되었다. 현재 MIM, MIS 커패시터에 기존의 인슐레이터로 사용되던 SiO₂ 대신 High-k 물질을 사용하는 것에 대해 연구가 활발하다. 따라서 Metal 전극으로 사용되어 질 수 있는 TiN의 식각특성에 대한 지속적인 연구가 필요하다.¹⁻⁸ 이번 실험에서는 TiN과 마스크로 사용할 수 있는 SiO₂를 가스 혼합비와 RF 전력, Bias 전역과 공정 압력에 대한 식각 속도와 선택비를 관찰 하였고 식각 특성을 자세하게 알기 위해 XPS (X-ray photoelectron spectroscopy)를 이용하여 TiN 박막과 플라즈마 내의 라디칼과 식각된 시료 표면의 화학반응 분석을 통해 식각 특성을 알아보았다

2. 본론

이번 실험에서는 건식 식각 공정을 유도결합 플라즈마 (ICP) 시스템을 이용하여 진행하였다 (그림 1). 실험의 원통형 챔버의 지름은 26 cm이고 하부 기판에서 상부의 석영 창까지의 거리는 9 cm이다. 상부에는 플라즈마를 형성하기 위한 13.56 MHz의 주파수를 가지는 RF 전원에 3.5 턴의 구리 코일이 연결되어 있고 하부에도 13.56 MHz 주파수의 RF 전원이 연결되어 챔버 내의 이온에너지를 제어해준다. 또한 mechanical 펌프와 turbo-molecular 펌프를 직렬 연결하여 챔버 내의 압력을 조절하여 10⁻⁶ Torr까지 유지하였다. 실험에 사용된 TiN 박막의 두께는 200 nm였다. 기본 공정 조건은 500 W 상부 전력, -100 V의 하부 DC 역전압, 1 mTorr의 공정 압력, 그리고 40 °C 기판 온도이다. 식각률은 depth-profiler(alpha-step 500, KLA Tencor)를 이용했고 표면의 화학적 변화는 XPS(SIGMA PROBE, Thermo VG Scientific)을 이용하여 측정하였다.

그림 2는 BCl₃와 Ar 가스의 25:75 혼합비에 N₂ 가스를 첨가한 후 실험한 TiN의 식각률과 SiO₂와의 선택비를 나타냈다. TiN 박막의 식각률은 N₂ 가스가 4 sccm일때 62.4 nm로 가장 높게 나왔으며 SiO₂와의 선택비 역시 5.7로 4 sccm때 가장 높게 나왔다. N₂ 가스 비율이 높아질 수록 식각률과 선택비가 떨어졌는데 이는 늘어난 N 라디칼이 오히려 TiN의 식각을 더 방해했다고 사료된다. 그림 3은 공정 압력을 변화시키면서 진행된 TiN 박막의 식각률 및 선택비에 대한 그래프이다. 가스비율은 기본조건에 N₂ 가스를 4 sccm 첨가하였다. 공정 압력을 7.5 mTorr로 낮췄을 때 가장 좋은 식각률과 선택비를 보였다. 식각률은 158.2 nm였으며 선택비는 7.23이었다. 반대로 공정압력이 높아지면 높아질 수록 오히려 식각률과 선택비가 감소하였는데 이는 TiN의 식각률이 큰 폭으로 감소한데서 기인한다. 압력이 낮을 수록 식각률과 선택비가 높았던 것은 공정 압력이 낮아지면서 플라즈마 내 이온들의 밀도가 낮아지면서 이온들이 TiN 기판에 더 많이 영향을 줄 수 있었던 것으로 보여진다. 반대로 압력이 높아지면 높아질 수록 플라즈마 내의 이온들의 밀도가 높아지면서 이온들이 TiN 기판에 영향을 주기 전 이온들끼리의 충돌 빈도가 높아지면서 기판에 닿기 전의 에너지를 소비하기 때문으로 사료된다.

그림 4는 TiN 박막을 각각의 가스로 식각한 후 그 표면에서의 화학적 잔류물을 XPS로 분석한 Ti 2p 그림이다. BCl₃와 Ar의 가스비율은 25:75 이다. 그림 4를 보면 (b) BCl₃ (20 sccm)와 (c) BCl₃/Ar (5 sccm/15 sccm)이 (a) as-dep 과 비교해서 많은 변화를 보인 것을 알 수 있다. 이는 TiO₂ peak이 식각이 진행되면서 O 원자가 N 원자보다 많이 증발되면서 생긴 것으로 사료된다. 그림 5는 TiN 박막을 역시 세 가지 조건의 가스로 식각 한 후 그 표면에서의 화학적 잔류물을 XPS로 분석한 N 1s 그림이다. 그림 5 역시 식각 과정으로 거치면서 조건(2)와 조건(3)에서 BN의 peak이 높아진 것을 알 수 있다. 이는 B 원자가 식각 중에 TiN에서 떨어져 나온 N 원자와 결합하면서 생긴 것으로 사료된다.

3. 결론

이번 연구에서는 BCl₃와 Ar가스 그리고 N₂ 가스를 기반으로 유도결합 플라즈마를 이용하여 TiN과 SiO₂와의 식각 실험을 수행하였다. N₂의 가스비가 낮을 수록 TiN의 식각률과 선택비가 좋아졌고 식각률은 62.4 nm였다. 또한 RF 파워와

DC bias가 높을 수록 식각률이 좋아졌으며 공정 압력이 낮을 수록 식각률이 좋았다. XPS 분석을 통하여 TiN 표면의 화학적 반응 또한 알 수 있었다. 식각이 진행되면서 TiO₂의 O가 떨어져 나와 많이 증발해버려 Ti 2p peak이 변하는 것을 추측할 수 있었다. 또한 유입된 BCl₃ 가스의 B가 N과 결합하여 표면에 많이 남게 되는 것을 추측할 수 있었다.

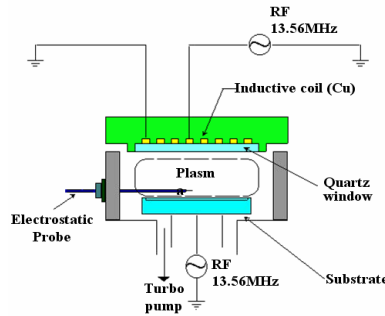


Fig. 1. Schematic of ICP system

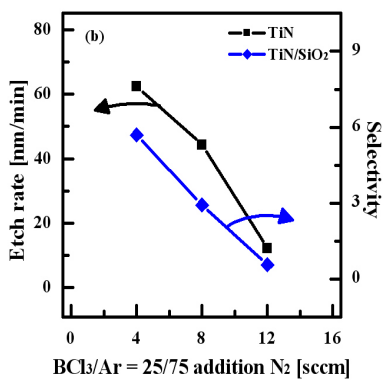


Fig. 2. The etch rate and selectivity of TiN thin film in BCl₃/Ar and additive N₂

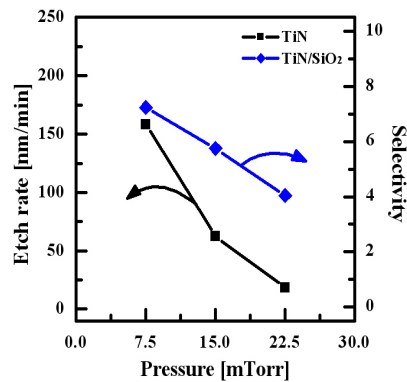


Fig. 3. The etch rate and selectivity of TiN thin film each pressures in BCl₃/Ar/N₂

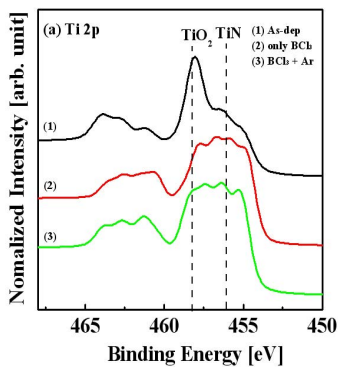


Fig. 4. The XPS narrow scan spectra of Ti 2p peaks each conditions

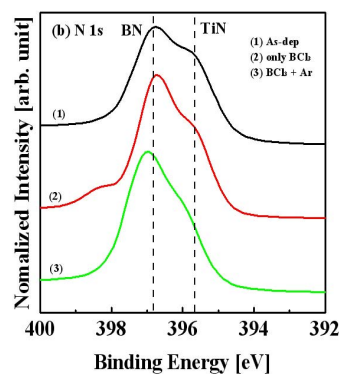


Fig. 5. The XPS narrow scan spectra of N 1s peaks each conditions

참고문헌

1. H. Takasago, K. Adachi, and M. Takada. 18, 319 (1989).
2. Ki-ChulPark, Ki-BumKim, IvoJ.M.M.RaaijmakersandKenNgan, AmericanInstituteofPhysics, 1996.
3. M. O. Aboelfotoh and B. G. Svensson, phys. Rev. B 44, 12 (1991). 12742-12747
4. J. O. Olowolafe, J. Li, and J. W. Mayer, J. Appl. Phys. 68, 6207 (1990).
5. Sa-Kyun Rha, Won-Jun Lee, Thin Solid Films 320 (1998) 134-140
6. E. Braun, Semicond. Int. (2004)
7. M. Darnon, T. Chevolleau, D. Eon and L Vallier. J. Vac. Sci. Technol. (2006) 1071-1023