

고밀도 플라즈마를 이용한 TaN/HfO₂ 게이트 구조의 식각 특성

김관하, 김창일*, 장영수**, 이주욱, 김상기, 구진근, 강진영

한국전자통신연구원, 중앙대학교*, 충남대학교**

Etching properties of TaN/HfO₂ gate structure by using high density plasma

Gwan-Ha Kim, Chang-Il Kim, Myoung-Soo Jang, Ju Wook Lee, Sang-Gi Kim, Jingun Koo and Jin Young Kang

ETRI, Chung-Ang Univ.*, Chung-Nam National Univ.**

Abstract : 반도체 소자의 공정에 있어서 device scaling으로 인한 게이트 산화막 대체 유전체 (high-k)의 공정 개발 확보 방안 필요하다. 본 논문에서는 Cl₂/Ar 유도 결합 플라즈마를 이용하여 HfO₂ 박막을 식각하였다. Cl₂ (80 %)/Ar (20 %)의 가스비, 600 W의 RF 전력, -150 V의 직류 바이어스 전압, 20 sccm의 총 가스유량, 15 mTorr의 압력에서 15.4 nm/min의 최대 식각률을 얻을 수 있었다. 식각 된 HfO₂ 박막 표면을 XPS 분석한 결과 Hf와 O는 Cl 라디칼과 반응을 하여 높은 휘발성을 보이지만 Hf-O의 안정된 결합으로 인하여 이온에 의한 스퍼터링 효과에 의해서 식각 된다.

Key Words : 고밀도 플라즈마, 식각, HfO₂

1. 서 론

2006 ITRS 보고서 내용의 전반적인 흐름에 있어서 향후 대두될 기술은 device scaling에 따른 새로운 공정 개발, 저 전력 소자 설계, 새롭게 대두된 환경문제에 따른 소자 재료의 변화 등으로 볼 수 있다. 이 중에서도 특히 반도체 소자의 공정에 있어서 device scaling으로 인한 게이트 산화막의 허용치 한계에 따른 새로운 기술 개발이 시급하고, lithography 및 패터닝 공정의 변화가 요구되며, 대체 유전체 (high-k)의 공정 개발 및 신뢰성 확보, 식각 공정에서 소자의 식각 손상의 최소화가 대두되고 있다. 특히 저 전력 소자 및 산화막 두께의 한계, 누설 전류의 최소화 요구에 따른 새로운 high-k 물질의 적용이 시급함을 쉽게 알 수 있다. 이러한 새로운 high-k 물질을 적용하기 위해서 다종의 재료(high-k 게이트 유전물질, 경화된 Si, nickel silicide 관련 재료의 통합된 공정 개발 기술) 및 공정집적에 따른 신뢰도 확보 방안 필요하다.[1]

High-k 재료의 식각 시 공정 인자가 식각에 미치는 영향 즉, 식각 가스의 종류 및 혼합비, 첨가 가스에 따른 식각 속도, 식각 선택비, 식각 프로파일 등과 같은 단위 공정 변수가 식각 특성에 미치는 영향과 식각 부산물을 검출하는 등의 단편적인 연구가 진행되고 있으나 식각 가스 영향, 공정 압력, 입력 전력, 기판 온도 등과 같은 공정 인자의 상호 의존성 및 식각 특성에 미치는 영향에 대한 연구를 실시하고 그 최적의 식각 공정 제어 인자를 도출하여 식각 속도, 식각 선택비, 식각 프로파일 등의 개선을 위한 플라즈마 식각 거동, 폴리머 분석 등을 통해 high-k 재료의 식각 메커니즘의 규명이 필요하다.

본 연구에서는 Cl₂/Ar 플라즈마를 이용하여 HfO₂ 박막을 식각하였다. 식각 시 HfO₂ 박막 표면과 라디칼과의 화학적인 반응을 분석하고 식각 메커니즘을 규명하기 위하여 XPS(x-ray photoelectron spectroscopy)를 사용하였다.

2. 실험

본 실험에서는 boron이 doping된 5 inch P-type Si(100) wafer로 비저항은 6~12 Ωcm이며 기판 위의 유기물질 제거를 위해 Piranha cleaning (H₂SO₄:H₂O₂=4:1)을 10분간 하였고, 자연 산화막을 제거하기 위해 HF cleaning (HF:DI water=1:100)을 2분간 하였다. 준비된 시편위에 HfCl₄와 TMA를 source로, H₂O gas를 반응가스로 사용하였으며, carrier gas 및 purging gas로 99.999%의 Ar을 사용하였다.

이와 같이 증착된 HfO₂ 박막은 유도결합 플라즈마 시스템을 이용하여 식각하였다. Cl₂/Ar 플라즈마를 HfO₂ 박막의 식각에 사용하였으며, 600 W의 RF 전력, -150 V의 직류 바이어스 전압, 15 mTorr의 반응로 압력, 20 sccm의 총 가스유량과 23 °C의 기판 온도로 고정시켰다. 식각속도는 Tencor사의 α-step 500을 이용하여 측정되었으며, 식각 전후의 HfO₂ 박막의 표면반응을 VG Scientific 사의 ESCALAB 250 XPS 장비를 이용하여 분석하였다. 이때 XPS 장비는 250 watts의 방사 에너지를 가지는 Al Kα (1486.6 eV)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

HfO₂ 박막을 ICP 식각 장비를 이용하여 식각하였다. 그림 1은 Cl₂/(Cl₂+Ar) 가스의 혼합비에 따른 HfO₂, Si, SiO₂, Si₃N₄, Photoresist(PR)의 식각률을 나타낸 것이다. Cl₂ 가스를 80 %까지 첨가함에 따라 HfO₂ 박막의 식각률은 증가하여 최대 식각률인 15.4 nm/min을 보이며 마스크 물질로 사용할 수 있는 SiO₂, Si₃N₄ 막도 Cl₂/Ar 가스가 혼합되어 물리적인 식각의 도움을 받아 화학적 식각이 배가되는 상태에서 식각률이 가장 높음을 볼 수 있는 반면 PR의 식각률은 지속적으로 감소하는 경향을 보인다.

그림 2는 Cl₂/(Cl₂+Ar) 가스의 혼합비에 따른 Cl 라디칼, Cl₂ 분자, Ar 원자의 빛 방출 강도를 나타낸다. 그림에서

볼수 있듯이 가스 혼합비가 80%의 $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 비율까지 증가할 때 Cl 라디칼과 Cl_2 의 밀도는 일정하게 증가하나 계속적으로 Cl_2 가스의 분압이 증가할 때 빛 방출 강도는 더 이상 증가하지 못하거나 감소하는 경향을 보인다. 이는 Ar 가스를 첨가함으로써 Ar 가스가 Cl_2 분자의 해리를 도와주어 Cl_2 가스의 이온화율과 해리율 향상에 도움을 주지 못하기 때문이라고 사료된다.

그림 3은 HfO_2 박막의 식각 전과 후의 XPS wide 스캔 스펙트럼을 나타낸다. 식각 후의 XPS 분석에서 볼수 있듯이 스펙트럼 분포가 유사하여 식각 후 식각 부산물이 높은 휘발성을 보여 시료 표면에 잔류하지 않음을 알 수 있다. 그림 4의 narrow 스캔 스펙트럼에서도 Hf 4f 피크와 O 1s의 피크가 식각 전후에 유사한 경향을 피크 강도를 확인할 수 있다. 이는 앞에서 언급했듯이 식각 부산물의 휘발성이 높음을 알 수 있다. 그러나 그림 1에서 보듯이 HfO_2 박막의 식각률은 그리 높지 않는 것은 HfO_2 박막의 열적 안정성이 높으며 강한 결합에너지를 가지기 때문이라고 생각된다.[2]

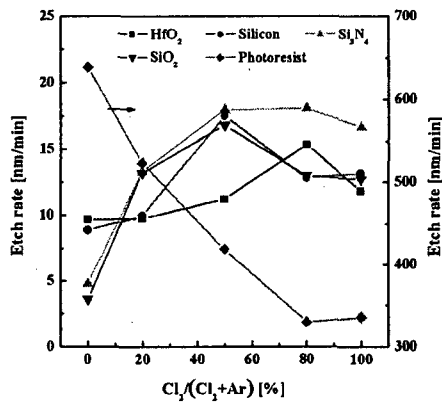


그림 1. Cl_2/Ar 가스 혼합비에 따른 HfO_2 , Silicon, Si_3N_4 , SiO_2 , Photoresist의 식각률.

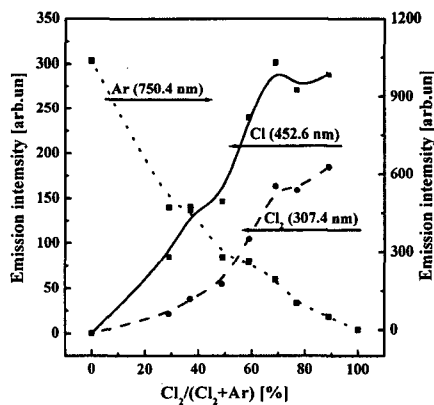


그림 2. Cl_2/Ar 가스 혼합비에 따른 빛 방출 강도 변화.

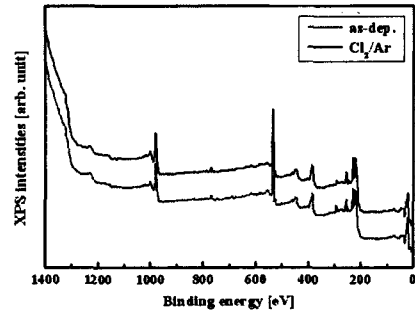


그림 3. HfO_2 박막의 식각 전후의 XPS wide scan 스펙트럼.

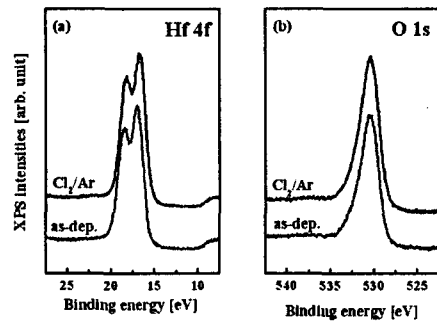


그림 4. HfO_2 박막의 식각 전후의 XPS narrow scan 스펙트럼. (a) Hf 4f, (b) O 1s

4. 결론

본 논문에서는 Cl_2/Ar 유도 결합 플라즈마를 이용하여 HfO_2 박막을 식각하였다. Cl_2 (80 %)/Ar (20 %)의 가스비, 600 W의 RF 전력, -150 V의 직류 바이어스 전압, 20 sccm의 총 가스유량, 15 mTorr의 압력에서 15.4 nm/min의 최대 식각률을 얻을 수 있었다. 식각 된 HfO_2 박막 표면의 XPS 스캔 결과 Hf와 O는 Cl 라디칼과 반응을 하여 높은 휘발성을 보이지만 Hf-O의 안정된 결합으로 인하여 이온에 의한 스퍼터링 효과에 의해서 식각되지만 낮은 식각률을 보이나 게이트 구조에서 높은 식각률 보다는 하부 Si와의 높은 선택비 확보가 더 중요하다.

참고 문헌

[1] S. Norasetthekul, P.Y. Park, K.H. Baik, K.P. Lee, J.H. Shin, B.S. Jeong, V. Shishodia, D.P. Norton, S.J. Pearton, "Etch characteristics of HfO_2 films on Si substrates", *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 187, p. 75, 2002.
 [2] J.R. Jameson, P.B. Griffin, A. Agah, J.D. Plummer, H-S. Kim, D.V. Taylor, P.C. McIntyre, and W.A. Harrison, "Problems with Metal-Oxide High-k Dielectrics Due to 1/t Dielectric Relaxation Current in Amorphous Materials", *IEDM*, 2003.