

유도결합 플라즈마를 이용한 고유전을 박막의 식각특성

김 관하*, 우 종창*, 김 경태*, 김 동표*, 이 철인**, 김 창일*

중앙대학교 전자전기공학부*, 안산공과대학 전기과**

Etch characteristics of high-k dielectrics thin film by using inductively coupled plasma

Gwan-Ha Kim*, Jong-Chang Woo*, Kyoung-Tae Kim*, Dong-Pyo Kim*, Cheol-In Lee**, and Chang-Il Kim*

Chung-Ang Univ.*, Ansan College of Technology**

Abstract: 반도체 소자의 공정에 있어서 device scaling으로 인한 고유전 게이트 산화막 (high-k dielectrics thin film)의 공정 개발 확보 방안이 필요하다. 본 논문에서는 유도결합 플라즈마를 이용하여 고유전을 박막을 식각하였다. CF₄, SF₆ 등의 가스에서 금속-F, 금속-S 결합의 낮은 휘발성으로 인하여 시료 표면에 잔류하여 낮은 식각률을 보이며 측벽 잔류물을 형성 하였으며, HBr, Cl 기반 플라즈마에서 금속-Br, 금속-Cl 결합은 시료 표면으로부터 탈착이 용이하여 효과적인 식각이 이루어짐을 확인할 수 있었다.

Key Words : 고유전을 박막, 식각, 유도결합 플라즈마

1. 서론

2006 ITRS 보고서 내용의 전반적인 흐름에 있어서 향후 대두될 기술은 device scaling에 따른 새로운 공정 개발, 저전력 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, 대체유전체 (high-k)의 공정 개발 및 신뢰성 확보, 식각 공정에서 소자의 식각 손상의 최소화가 대두되고 있다. 특히 저전력 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, 챔가 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 유도결합 플라즈마를 이용하여 HfO₂, Al₂O₃, ZrO₂ 박막을 식각하였다. 식각 시 고유전을 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 ALD 방법으로 HfO₂, Al₂O₃, ZrO₂ 박막을 증착하였다.

이와 같이 증착된 고유전을 박막은 유도결합 플라즈마 시스템을 이용하여 식각하였다. Ar, CF₄, SF₆, HBr, Cl₂ 플라즈마를 식각 가스로 사용하였으며, 400 W의 RF 전력, 100 W의 바이어스 전력, 10 mTorr의 반응로 압력, 100 sccm의 총 가스유량과 45 °C의 기판 온도로 고정시켰다. 식각속도는 Tencor사의 α-step 500과 FE-SEM을 이용하여 측정되었으며, 식각 전후 박막의 표면반응을 VG Scientific사의 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

그림 1은 Ar, CF₄, SF₆, HBr, Cl₂ 플라즈마에서 HfO₂, Al₂O₃, ZrO₂ 박막의 식각률을 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있듯이 Ar 플라즈마에서의 물리적인 식각 보다는 화학적인 반응에 의하여 식각이 효과적으로 이루어짐을 확인할 수 있으며 CF₄, SF₆ 등의 fluorine 기반 플라즈마 보다 chlorine 또는 bromine 기반의 플라즈마에서 식각률이 높음을 확인하였다. 이는 고유전을 박막과 fluorine의 결합의 낮은 휘발성으로 인하여 기인한 것이며 상대적으로 금속-Br, 금속-Cl 결합은 시료 표면으로 부터의 탈착이 용이하

여 발생한 결과라 사료된다.

그림 2는 고유전율 박막과 Si, SiO₂, Si₃N₄ 박막과의 식각 선택비를 나타낸다. 식각률과 마찬가지로 fluorine 기반 플라즈마에서는 모든 마스크 물질과의 낮은 선택비를 보였으며 bromine, chlorine 기반 플라즈마에서 상대적으로 높은 식각 선택비를 얻을 수 있었다. 이는 SiF_x 결합의 높은 휘발성으로 인한 결과라 사료된다.

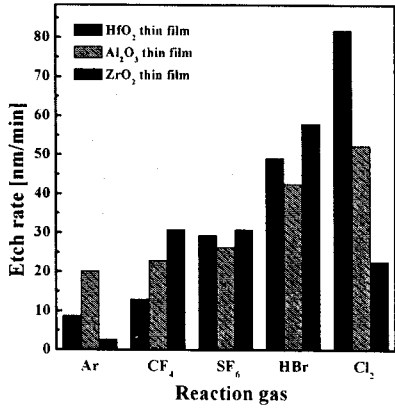


그림 1. 반응 가스에 따른 고유전율 박막의 식각률

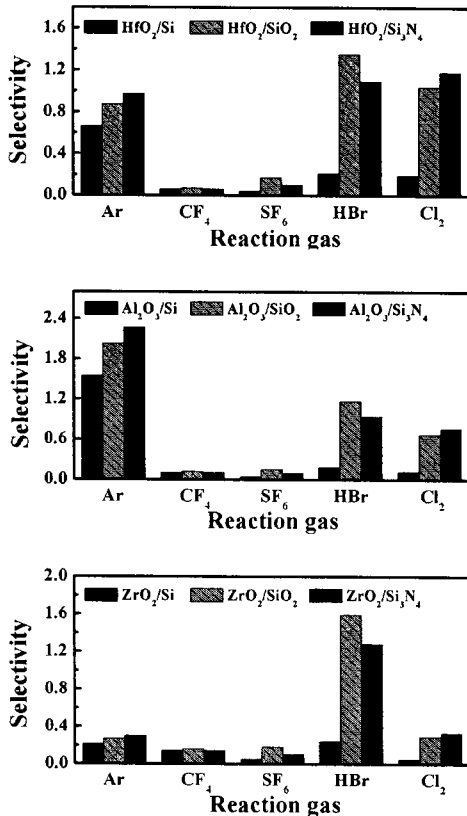


그림 2. 반응 가스에 따른 고유전율 박막의 식각 선택비

4. 결론

본 연구에서는 Ar, CF₄, SF₆, HBr, Cl₂ 유도결합 플라즈마에서 HfO₂, Al₂O₃, ZrO₂ 박막을 식각하였다. 이때의 공정 조건은 400 W의 RF 전력, 100 W의 바이어스 전력, 10 mTorr의 반응로 압력, 100 sccm의 총 가스유량과 45 °C의 기판 온도였다. Ar 이온에 의한 물리적인 식각 보다는 화학적인 식각이 효율적임을 알 수 있었으며 금속-F, 금속-S 결합의 낮은 휘발성으로 인하여 식각 표면에 잔류물을 확인하였으며 측벽 잔류물을 보인다. 금속-Cl, 금속-Br 결합은 시료 표면으로 부터의 탈착이 용이하여 효율적인 식각이 이루어졌으며 Si, SiO₂, Si₃N₄와의 식각 선택비도 상대적으로 우수하였다.

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 HfO₂ 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.