

Hf metal layer의 두께에 따른 HfO₂/Hf/Si MOS 커패시터의 전기적 특성

배군호, 도승우, 이재성*, 이용현
경북대학교, 위덕대학교*

Electrical Characterization of HfO₂/Hf/Si MOS Capacitor with Thickness of Hf Metal Layer

Kun-Ho Bae, Seung-Woo Do, Jae-Sung Lee* and Yong-Hyun Lee
Kyungpook Nstional Univ. *Uiduk Univ.

Abstract : In this paper, Thin films of HfO₂/Hf were deposited on p-type wafer by Atomic Layer Deposition(ALD). And we studied the electrical characterization of HfO₂/Hf/Si MOS capacitor depending on thickness of Hf metal layer. HfO₂ films were deposited using TEMAH and O₃ at 350 °C. Samples were then annealed using furnace heating to 500 °C. The MOS capacitor of round-type was fabricated on Si substrates. Through TEM(Transmission Electron Microscope), XRD(X-ray Diffraction), capacitance-voltage(C-V) and current-voltage(I-V) analysis, the role of thin Hf metal layer for the better HfO₂/Si interface property was investigated.

Key Words : ALD(Atomic Layer Deposition), High-k, HfO₂, MOS(Metal Oxide Semiconductor) Capacitor

1. 서론

HfO₂는 CMOS 게이트 유전체로서 효율성의 한계에 이른 실리콘 산화물(SiO₂)을 대체할 유력한 물질 중 하나이다. HfO₂는 ~25의 높은 유전상수(dielectric constant)를 가지면서 비교적 높은 에너지 밴드 갭(5.68 eV)에 의해 누설전류를 최소화 할 수 있다 [1]. 또 실리콘과 유사한 열팽창 계수와 lattice mismatch(~5%)를 가진다. 반면, HfO₂는 게이트 유전체로서 CMOS 공정에 적용하는데 몇 가지 문제를 가지고 있다. HfO₂와 Si 사이의 상호확산에 의한 원하지 않는 저유전물질(SiO_x)이 생성된다 [2,3]. 또 계면에 산소 vacancy에 의한 oxide trap charge가 생긴다 [4]. 본 논문에서는 이런 문제들을 해결하기 위해 HfO₂/Hf/Si 구조를 제안하고 Hf metal layer 두께에 따른 전기적, 물성적 특성을 분석하였다.

2. 실험

p-type(100) Si 웨이퍼의 native oxide를 제거한 후 ALD 방법을 이용하여 HfO₂/Hf 박막을 증착하였다. Hf의 전구체로 TEMAH [Tetrakis(ethylmthylamino)-hafnium]를 사용하였고 산소의 전구체로는 O₃를 사용하였다. 5 layer, 10 layer 두께의 Hf metal layer와 170 Å의 HfO₂를 350 °C, 0.7 Torr 조건에서 증착하였다. 박막의 열처리 공정은 가열로(furnace)를 이용하여 500 °C, 600 °C N₂ 분위기에서 20분간 하였다. 열처리 공정 후 E-beam evaporator를 이용하여 Pt(2000 Å) / Ti(100 Å) 금속전극을 형성한 후 round-type의 MOS capacitor를 제작하였다. 제작된 capacitor는 400 °C에서 20분간 열처리 공정(metal alloy)을 하였다. HfO₂와 Si 사이의 계면층 형성을 알아보기 위해 단면을 TEM으로 측정하였고 XRD를 이용하여 온도에 따른 결정성을 분석하였다. HP 4156과 HP 4280을 이용하여 I-V, C-V 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 HfO₂/Si 구조와 HfO₂/Hf/Si 구조의 500 °C 열처리 후 단면을 TEM으로 측정된 것이다. HfO₂/Si 구조에 비해 Hf metal layer가 있는 구조에서 계면층의 두께가 더 얇다. 이것으로 Hf metal layer가 계면층 형성을 억제하는 것을 확인할 수 있다. 또 500 °C 열처리 후 HfO₂/Si 구조의 계면층 두께는 두꺼워지지만 HfO₂/Hf/Si 구조의 계면층 두께는 상대적으로 얇아진다. 이는 확산에 의해 Si와 O가 Hf metal layer와 결합하여 계면층의 두께가 얇아진 것으로 사료된다.

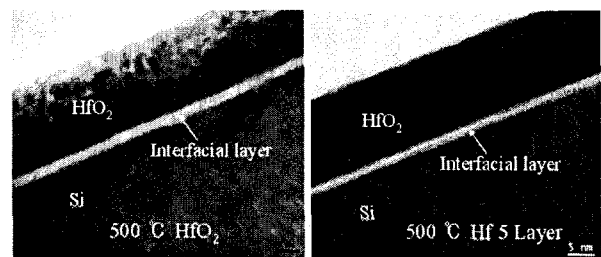


그림 1. HfO₂ 박막의 TEM 단면도

그림 2는 HfO₂/Si 구조와 HfO₂/Hf/Si 구조의 열처리 온도에 따른 HfO₂의 결정성을 알아보기 위한 XRD 측정결과이다. HfO₂/Si 구조는 500 °C 열처리 후 단사정계(monoclinic) peak가 보인다. 500 °C에서 결정화가 되어 비정질(amorphous)에서 결정(crystalline)으로 변형된 것을 알 수 있다. 반면 HfO₂/Hf/Si 구조는 Hf metal layer 두께가 5 layer, 10 layer인 경우에는 500 °C 열처리 시 비정질 상태를 유지하다 600 °C에서 단사정계 peak를 보이며 결정화된다. 이로 미루어볼 때 Hf metal layer가 HfO₂와 단결정(single-crystal)인 Si과의 직접적인 접촉을 막아 HfO₂/Si 구조에 비해 상대적으로 높은 온도에서 결정화 되는 것으로

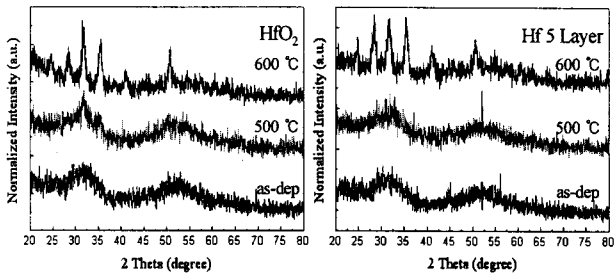


그림 2. 열처리 온도에 따른 HfO₂/Si 구조와 HfO₂/Hf/Si 구조의 XRD 스펙트라

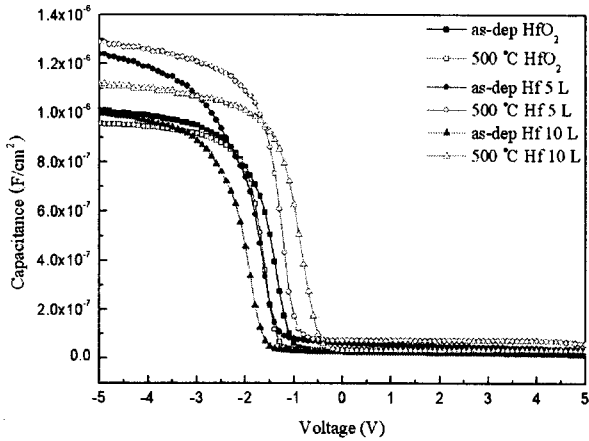


그림 3. 열처리 온도에 따른 C-V 특성

사료된다.

그림 3은 HfO₂/Si 구조와 HfO₂/Hf/Si 구조의 Pt 전극 MOS capacitor의 C-V 특성곡선이다. Hf metal layer가 있는 구조는 HfO₂/Si 구조에 비해 높은 정전용량을 가진다. 또 HfO₂/Hf/Si 구조는 500 °C 열처리에 의해 oxide trap charge가 감소하고 보다 높은 정전용량을 얻을 수 있다. 반면 HfO₂/Si 구조는 열처리에 의해 oxide trap charge가 증가하고 보다 낮은 정전용량을 가진다. 이는 Hf metal layer가 HfO₂와 Si 사이 계면에 저유전물질의 생성을 억제하고 보다 높은 유전상수를 가지는 HfSi_xO_y를 생기게 했음을 의미한다. 10 layer에 비해 5 layer일 때 더 높은 정전용량을 가지며 barrier로서 효과적이라는 것을 알 수 있다.

그림 4는 HfO₂/Hf/Si 구조와 HfO₂/Si 구조의 온도에 따른 I-V 특성곡선이다. HfO₂/Hf/Si 구조가 HfO₂/Si 구조에 비해 더 작은 누설전류 특성을 가진다. 특히 5 layer일 때 더 작은 누설전류 특성을 가진다. 또 HfO₂/Hf/Si 구조는 500 °C 열처리 전과 후 거의 비슷한 누설전류 특성을 가지지만 HfO₂/Si 구조는 500 °C 열처리 후 결정화에 인해 더 큰 누설전류 특성을 가지며 Hf metal layer가 있는 구조에 비해 breakdown 현상도 더 빨리 일어난다.

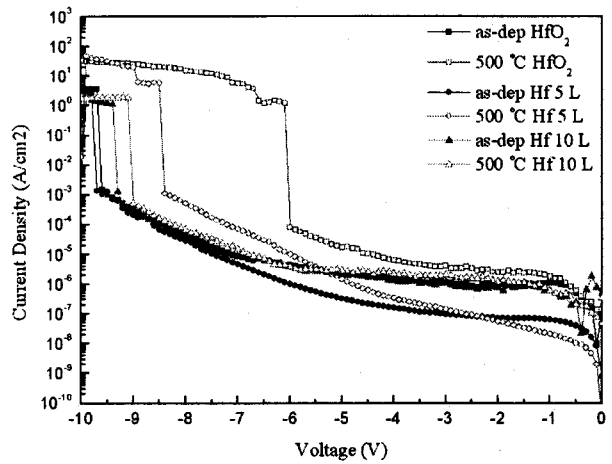


그림 4. 열처리 온도에 따른 I-V 특성

4. 결론

본 논문에서는 MOS 구조의 게이트 유전체로서 HfO₂/Hf/Si 구조의 유용성과 Hf metal layer 두께에 따른 전기적, 물성적 특성을 분석 하였다. HfO₂/Hf/Si 구조는 HfO₂와 Si 사이에 생기는 저유전물질인 SiO_x의 생성을 억제하여 HfO₂/Si 구조에 비해 상대적으로 높은 정전용량을 가지고 oxide trap charge를 감소시키는 효과를 가지고 있다. 또 HfO₂/Hf/Si 구조는 HfO₂/Si 구조에 비해 낮은 누설전류 특성을 가진다. 특히 Hf metal layer의 두께가 비교적 작은 5 layer 일 때 가장 높은 정전용량과 낮은 누설전류 특성을 가진다. Hf metal layer의 다른 효과로 HfO₂와 Si 사이의 직접적인 접촉을 막아 더 높은 온도에서 결정화하게 한다.

참고 문헌

- [1] S. J. Chang, W. C. Lee, J. Hwang, M. Hong, J. Kwo, Thin Solid Film, 2007
- [2] G. He, Q. Fang, M. Liu, L. Q. Zhu, L. D. Zhang, Journal of Crystal Growth, vol 268, p. 155, 2004
- [3] G. K. Wilk, R. M. Wallace, J. M. Anthony, J. Appl. Phys. 89, p. 5243, 2001
- [4] P. Samanta, C. Zhu, M. Chan, Microelectronic Engineering 84, p. 1964, 2007..