

스퍼터링 방법으로 증착한 HfO₂ MIM 커패시터의 유전특성

Characteristics of Metal-Insulator-Metal Capacitors with HfO₂ Deposited by Sputtering

정석원, 정성혜, 강대진, 노용한.

(Suk-Won Jeong*, Sung-Hae Jung**, Dae-Jin Kang*, Yonghan Roh*)

Abstract

Hf thin films were deposited on bottom metal using a RF magnetron sputtering method followed by oxidation and annealing in O₂ and N₂ ambient, respectively. Various top metal electrodes (i.e., Al, Au, and Cu) were deposited by evaporation, and their roles on physical and electrical properties were investigated.

Using the XRD, SEM and AFM techniques, we confirmed that the grain size of HfO₂ thin films enlarges as a function of oxidation temperature, increasing dielectric constant. However, other electrical properties (e.g., tan δ) deteriorate as a consequence. The dielectric constant and tan δ of HfO₂ thin films oxidized at 500 °C were 17-25 and $3 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-2}$, respectively, in the frequency range of 1 Hz to 1 MHz. The leakage current density was less than 1×10^{-8} A/cm² up to 0.7 MV/cm. In addition, electrical properties of HfO₂ thin films (e.g., the dielectric constant, leakage current and tan δ) depend on top metal electrode. We showed that Al top metal electrode results in the best result.

Key Words : MIM capacitor, HfO₂

1. 서론

최근 반도체 소자의 집적도가 높아짐에 따라 DRAM과 무선통신 시스템응용을 위한 고유전상수와 저손실 유전체에 대한 연구가 진행되고 있다. 무선통신 기술의 발달은 접적회로 소자의 동작 주파수 대역을 수 MHz-GHz로 확대하였고, 이에 만족하는 유전특성을 가진 통신소자의 개발은 필수적이다. MIM(Metal-Insulator-Metal) 커패시터에 사용되는 절연막의 유전상수가 증가함에 따라 단위 면적당 정전용량을 크게할 수 있어 커패시터 면적 축소가 가능하다. 이러한 고 유전물질로

최근 연구되어진 SiO₂, Ta₂O₅, Si₃N₄ 보다 유전상수가 높고, 열처리에 따른 구조 안정성이 우수한 HfO₂ 절연막을 이용하여 MMIC 및 DRAM 소자 제작에 응용 가능한 MIM 커패시터의 특성을 연구하였다. HfO₂는 다른 금속계열의 산화막보다 높은 밴드 갭(~5.68eV), 실온에서 높은 유전상수(~40) 뿐만 아니라 낮은 누설전류특성으로 안정된 상유전상을 갖고 있어 저 손실 유전박막으로 보고 되어져 있다[1,2]. 고유전율 박막의 공정연구에 있어 또 하나의 중요한 문제는 안정된 특성을 갖는 박막을 형성을 위한 상,하부 전극 개발이다. HfO₂ 박막의 전극재료로 기존의 폴리실리콘을 사용할 수 없다. 이는 HfO₂의 제조 공정 중 HfO₂과 Si층 사이에 열적으로 안정한 비정질 층(amorphous layer)인 Hf-silicate(HfSi_xO_y)가 형성되어 전체박막의 유전 상수를 저하시키므로 하부전극으로 가장 유망한 후보 재료로서 Pt.

* : 성균관대학교 정보통신공학부
(경기도 수원시 장안구 천천동 300번지,
Fax : 031-290-5819
E-mail : swjeong@daelim.ac.kr)
** : ETRI (대전광역시 유성구 가정동 161)

RuO₂의 우수한 특성이 보고되어 있다[3,4]. 또한 상부전극의 경우 전극재료와 절연층에 대한 물리적인 현상이 전기적인 특성에 영향을 미치므로 상부전극의 종류에 따른 일함수 차와 HfO₂ 박막과 상부전극 계면의 접촉 그리고 Ohmic 접촉 정도에 따라 누설전류가 상이하게 나타남은 물론이고 정전용량도 계면의 물리적 변화에 의존하고 있다 [5]. 본 논문에서는 HfO₂ 박막과 상부전극 재료의 비대칭에 의한 전기적 특성과 물리적 성질을 규명하고자 하였다.

2. 실험 방법

P-type Si 기판에 절연층으로 SiO₂층을 3000 Å 을 형성한후 Pt(2000Å)/Ti(300Å)/를 증착한 기판 위에 RF-magnetron sputtering 방법을 이용하여 Hf(800 Å)을 증착하였으며, 조건은 표 1에 나타내었다.

표 1. Hf 박막의 스퍼터링 조건.

Target	Hf
Substrate	Pt/Ti/SiO ₂ /Si
Base pressure	3×10 ⁻⁷ Torr
Working pressure	5×10 ⁻⁴ Torr
RF power	300W
Substrate temperature	300K
Ar : O ₂	8 : 2
Deposition time	150 sec

증착된 기판의 세정을 위해 트리클로에틸렌, 아세톤, 메탄올 순으로 각각 5분간 초음파 세척을 하고 탈 이온수로 씻어낸후, 질소로 건조시켰다. Hf 을 O₂ 분위기에서 400, 500, 600 °C온도의 전기로에서 각각 120분간의 산화(oxidation)공정과 500 °C N₂ 60분간의 열처리(annealing)공정을 수행 하였다. 각각 다른 전극구조의 MIM 커패시터를 제작하기 위해 상부전극으로 알루미늄(Al), 금(Au), 구리(Cu)를 열 증발장치(thermal evaporator)를 이용하여 MIM구조의 시편을 완성하였다. 각각 다른 온도에서 산화된 HfO₂ 박막의 표면 미세구조를 분석하기위해 AFM(Atomic Force Microscope)을 이용하여 살펴 보았고, XRD(X-ray Diffraction) 분석을 통해 결정의 형성 유무와 구조에 대하여 분석하였다. 전기적인 특성분석은 HP4194A와

HP4140B를 사용하여 전압-전류(I-V)특성 및 유전상수(ϵ_r), 유전손실($\tan\delta$) 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

HfO₂ 박막의 결정성과 배향성을 알아보기 위해 XRD분석을 하였다. 그림 1은 Pt/Ti/SiO₂/Si 기판 위에 증착한 HfO₂ 박막의 산화온도에 따른 XRD 분석 결과이다.

산화온도 400 °C에서 성장한 HfO₂박막의 경우 결정성장이 미비하여 비정질에 가까운 결정구조를 나타내었으나 500, 600 °C 온도에서는 뚜렷한 결정 성장을 보임을 알 수 있다. 다결정 peak는 HfO₂ (111) (28.5°)에서 배향성이 관찰되었다.

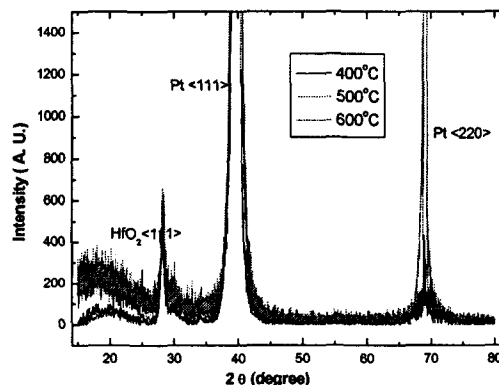


그림 1. 산화온도에 따른 HfO₂의 X 선 회절 패턴.

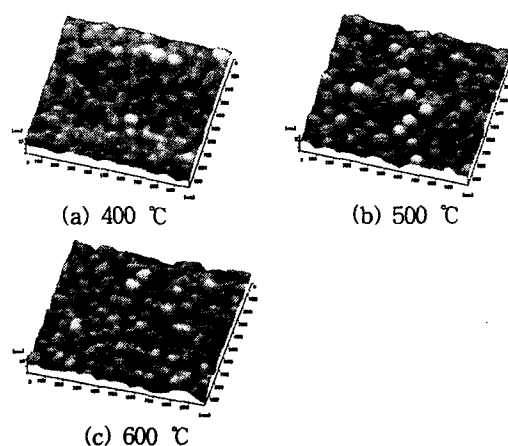


그림 2. 산화온도에 따른 HfO₂/Pt/Ti/SiO₂박막의 AFM사진.

그림 2는 400, 500, 600 °C의 각 산화온도별 HfO₂ 박막의 AFM사진이다. 400 °C에서 산화된 시편에서의 표면거친 정도가 1.432 nm이고, 500 °C는 1.467 nm, 그리고 600 °C는 1.482 nm로 온도가 증가함에 따라 표면이 거칠어짐을 확인할 수 있다. AFM 사진을 보면 400 °C에서는 특별한 결정립을 확인할 수 없는 반면에 500 °C에서는 부분적으로 600 °C에서는 전 영역에서 성장된 결정립을 확인할 수 있으며, 이것은 산화온도 증가에 따라 결정립의 크기가 커지고, 박막의 결정성이 향상됨을 알 수 있다.

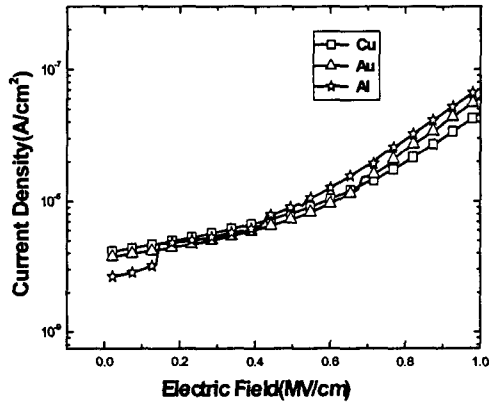


그림 3. 산화온도 500°C에서 상부전극의 종류에 따른 전류밀도-전계특성.

그림 3은 결정립이 형성된 500°C에서 HfO₂ 박막에 상부전극을 Al, Au, Cu로 증착한 후 전극종류에 따른 전계와 전류밀도특성을 나타내고 있으며, 상부전극의 종류에 따라 다소의 증감이 있으나 금의 누설전류특성이 우수함을 알 수 있다.

그림 4는 동일한 증착 조건에서 상부전극 재료의 종류에 따른 HfO₂ 박막의 주파수-유전상수 특성곡선이다. HfO₂ 박막의 산화온도 500 °C에서 후 열처리를 하지 않고도 상부전극재료의 종류에 따라 유전상수의 차이가 뚜렷이 구분됨으로 상부전극과 HfO₂박막 계면에 생성되는 유전상수가 낮은 계면층 발생에 따라 유전특성의 변화에 지대한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 상부전극을 Al으로 증착한 경우의 유전상수 값이 Au, Cu보다 현저히 높은 수치를 보여주고 있다. 이 경우에는 Al과 HfO₂박막의 반응에 따른 저유전성의 계면층이 발생하는 것으로 알려져 있으므로 유전율이 감소해

야하나, 상반된 실험결과를 나타냄으로 이에 대한 보다 자세한 연구가 선행되어야 할 것으로 본다.

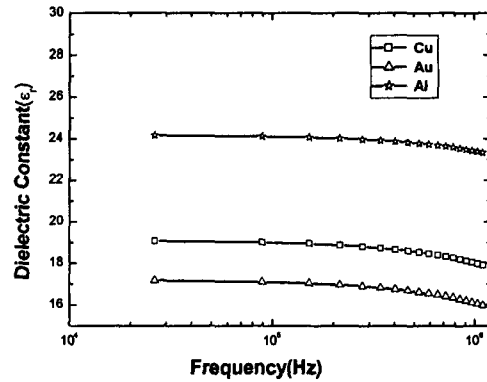


그림 4. 산화온도 500 °C에서 상부전극의 종류에 따른 주파수-유전상수.

그림 5는 전술한 조건과 같은 주파수 범위에서 측정된 HfO₂박막의 유전손실(tanδ) 특성그래프이다. 상부 전극이 Au, Cu일 때는 주파수가 증가함에 따라 유전손실의 미세한 감소를 나타내는 반면에 Al 전극의 경우에는 유전손실의 급격한 증가를 나타내며, 이것은 Al 전극이 HfO₂ 박막 내로 확산되어 약한 결정립 경계와 같은 결함들에 의해 발생하는 손실로 판단된다.

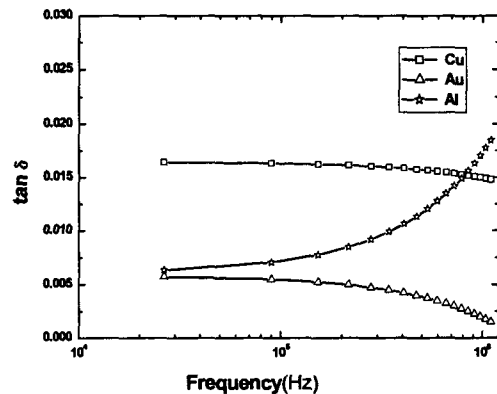


그림 5. 산화온도 500 °C에서 상부전극의 종류에 따른 주파수-유전손실.

4. 결 론

Hf 박막을 Pt/Ti/SiO₂/Si기판 위에 RF-magnetron sputtering 방법으로 상온에서 증착한후 온도 400, 500, 600 °C에서 산화하여 950 Å의 HfO₂ 박막을 성장 시켰다. 상부전극으로 Al, Au, Cu를 열 증착법으로 증착하여 시편의 특성변화를 검토하였다.

500 °C에서 산화시킨 HfO₂ 박막의 상부전극으로 Al 을 증착한 경우의 유전상수 값은 약 24를 나타내었고, Au 전극의 경우에는 주파수 증가에 따른 유전손실이 6×10^{-3} 이하로 우수한 유전박막 특성을 나타내었다. HfO₂ 박막의 산화 온도가 증가할수록 박막의 결정성이 향상되었고, 상부전극 재료의 종류에 따라 유전상수와 유전손실의 확실한 차이가 발생 했다.

참고 문헌

- [1] L. Kang et al, "Electrical Characteristics of Highly Reliable Ultrathin Hafnium Oxide Gate Dielectric", IEEE, Electron device lett, 21, pp.181-183, 2000.
- [2] B. H. Lee et al, "Thermal stability and electrical characteristics of ultrathin Hafnium oxide gate dielectric reoxidized with rapid thermal annealing", Appl. Phys. Lett, 76, pp.1926-1928, 2000.
- [3] H. N. Al-Shareef et al, "Analysis of the oxidation kinetics and barrier layer properties of ZrN and Pt/Ru thin films for DRAM applications", Thin Solid Films, 280, pp.265-270, 1996.
- [4] 전장배, 김덕규, 박영순, 박춘배, "BST 박막의 비대칭 전극 재료에 따른 누설전류특성", 전기전자재료학회, 춘계학술대회 논문집, 32, pp.329-332, 1999.
- [5] 전장배, 김덕규, 박춘배, "BST 박막의 RTA에 따른 전기적 특성", 전기전자재료학회, vol. 12, pp. 1111-1118, 1999.