

ZnO를 사용한 MOS 커패시터의 제작 조건에 따른 특성 변화

남형진[†] · W. M. Tang

[†]선문대학교 전자공학과, *토론토대학교 전기컴퓨터공학과

Property Variations of ZnO-based MOS Capacitor with Preparation Conditions

H. G. Nam[†] and W. M. Tang

[†]Electronic Engineering, Sun Moon University

*Electrical & Computer Engineering, University of Toronto

ABSTRACT

In this study we investigated the electrical properties of ZnO-based MOS capacitor with HfO₂ as the gate dielectric. MIM capacitor, which uses either HfO₂ or Al₂O₃ as the dielectric layer, is also studied to understand the dependency of the dielectrics on the preparation conditions. It was found that thinner HfO₂ films yield better electrical properties, namely lower leakage current and higher breakdown electric field. These properties were observed to deteriorate when subsequently annealed. Capacitance in the depletion region of MOS capacitor was found to increase with UV ozone treatment time up to 60min. However, when the treatment time was extended to 120min, the trend is reversed. The 'threshold voltage' was also observed to positively shift with UV ozone treatment time up to 60min. The shift apparently saturated for longer treatment.

Key Words : ZnO thin film, HfO₂, MIM capacitor, MOS capacitor, TTFT, UV ozone treatment

1. 서 론

최근 대면적 평면 디스플레이에 대한 관심이 점점 높아지면서 기존의 실리콘을 사용하는 TFT-LCD나 EL의 단점을 보완하기 위해 ITO, AZO 등 투명한 전도성 산화물질(Transparent Conductive Oxide; TCO) 및 투명한 능동층 구현 용 다결정 또는 비정질 형태의 산화금속에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 ZnO는 비교적 우수한 전도성, 3.37eV의 광대역 에너지 갭, 높은 광 흡수계수, 상온에서의 큰 exciton 결합 에너지(60 meV로 널리 사용되고 있는 GaN의 exciton 결합에너지인 26 meV 보다 훨씬 커서 상온에서 두 배 이상의 빛 방출이 가능), 대면적 기판의 활용 가능성 등의 특징을 갖고 있어 태양열판, 발광 다이오드, 레이저, 광 감지기, UV-검출기 등과 같은 많은 응용분야에

서 연구와 시제품 제작이 이루어지고 있다[1-4].

그러나 ZnO는 억셉터 도판트들의 저 용해도, 깊은 억셉터 준위, 그리고 억셉터 도판트들과 zinc interstitials(Zn_i), oxygen vacancies(V_o) 등 진성 도너들 사이에서의 자기 보상 효과(self-compensation effect) 때문에 고 전도성이면서 안정된 p-형 ZnO의 형성이 매우 어려워 광전자소자나 박막트랜지스터(TFT) 등의 제작을 위한 반도체로서의 잠재적 응용성이 크게 위협받고 있다[5,6]. 특히 능동 픽셀 구조의 평면 디스플레이 구현을 위해 필수적인 TTFT 제작을 위해 ZnO를 사용하는 경우 유전체 종류와 구조에 따라 트랜지스터의 특성이 크게 변하는 것으로 보고되고 있다[7,8].

본 연구에서는 우선 유전체로서의 HfO₂를 특성을 이해하기 위해 metal-insulator-metal(MIM) 커패시터를 제작하고 전기적 특성을 분석한 다음 단층의 HfO₂를 유전체로 하는 top 게이트 방식의 metal-oxide-semiconductor(MOS) 커패시터를 제작 특성을 분석하

[†]E-mail : hgnam@sunmoon.ac.kr

였다. 특히 유전체 증착 전 ZnO를 UV 오존으로 처리한 다음 이에 의한 효과를 분석하였다. 본 논문에서는 UV 오존 처리 조건을 조절함으로써 MOS 커패시터 또는 TFT의 문턱 전압을 임의로 조절할 수 있는 가능성을 제시한다.

2. 실험방법

ITO 유리 기판 위에 100 nm 두께의 ZnO 박막을 RF magnetron 스퍼터링 방법으로 ZnO target을 사용하여 증착하였다. 증착은 상온에서 진행되었으며 기판과 target 간 거리는 대략 15 cm, 초기 진공은 2×10^{-6} torr, 증착 시 진공은 ~ 9 mtorr였다. RF전력은 200 W로 고정하였으며 반응가스는 아르곤과 산소를 4:1로 혼합하여 구성하였다. 증착 후 450°C에서 질소를 흘려주며 20분간 열처리하였으며 일부 ZnO 박막은 시간을 변수로 하여 UV 오존으로 처리하였다.

유전체는 ZnO 박막 또는 ITO 유리 기판 위에 아르곤 가스와 HfO₂ 또는 Al₂O₃ target을 사용하여 130W의 전력에서 RF magnetron 스퍼터링 방법으로 증착하였으며 유전체 박막 두께는 20 nm에서 100 nm까지 변수로 사용하였다. 아울러 일부 샘플의 경우 400°C에서 질소를 흘려주며 20분간 열처리하였다.

소자제작은 140 nm 두께의 Ni를 thermal evaporation 방법으로 증착하여 지름이 300 μm 인 원형 형태의 전극을 형성함으로써 완성하였다. I-V 분석은 HP4155A를 사용하여 수행하였으며 C-V 분석은 HP4280을 사용하여 1MHz에서 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. MIM 커패시터

그림 1에 유전체 및 상위 전극의 종류에 따라 MIM 커패시터의 누설전류 차이를 제시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 2가지 유전체 모두 비슷한 항복전계치를 갖는 것으로 관찰되었다. 항복현상이 일어나기 전 누설전류의 경우 전류 크기 면에서는 Al₂O₃가 상대적으로 낮은 것으로 관찰되었으나 인가전압에 따라 전류가 증가하는 정도는 HfO₂가 우수한 것으로 관찰되었다. 아울러 상위 전극을 ITO에서 Al으로 대체하는 경우 누설전류는 급격하게 감소하는 것으로 조사되었다. 즉, 유전체와 ITO 간 상호작용에 따라 특성이 저하됨을 알 수 있으며 따라서 투명한 박막트랜지스터 (TTFT) 제작을 위해 전극과 유전체 간 계면에서 일어나는 현상에 대한 이해와 공정의 최적화가 필요한 것으로 사료된다.

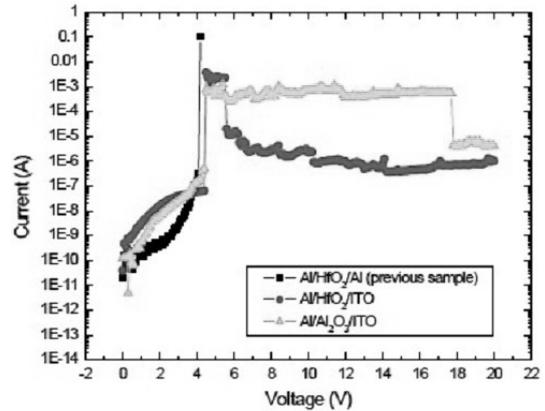


Fig 1. Leakage current of MIM capacitors depending on dielectrics and top electrode.

그림 2에는 HfO₂를 유전체로 사용한 MIM의 경우 유전층의 두께에 따른 게이트 누설전류 측정 결과를 제시하였다. 인가전압이 ~ 3 V보다 작은 영역에서는 누설전류가 $\sim 10^{-10}$ A 정도로 유전체가 제 역할을 하는 것으로 조사되었다. 하지만 3V보다 큰 인가전압에서는 누설전류가 급격하게 증가하여 결국 항복현상이 발생함을 보이고 있다. 누설전류는 유전체의 두께가 클수록 감소하는 것으로 관찰되었으나 항복전계치는 오히려 두께가 작을수록 높은 것으로 조사되었는데 이는 기존의 결과와도 일치하는 것이다[9]. 즉, 항복현상은 결합 등에 의한 특성의 저하가 기판과 게이트 간 percolation 경로를 형성하는 경우 발생하며 따라서 특성 저하의 확산속도에 종속하게 되는데 유전체 박막의 두께가 감소할수록 특성저하에 연관된 결합들의 밀도는 물론 특성저하의 확산속도가 감소하여 항복전계가 증가하게

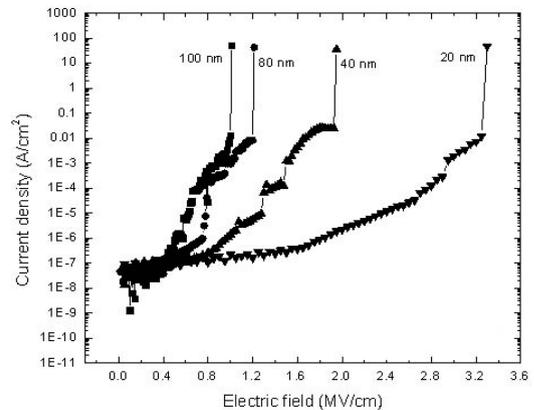


Fig 2. Leakage current and breakdown field of MIM capacitor for various HfO₂ thicknesses.

되는 것이다.

한편, HfO₂를 400°C에서 질소를 흘려주며 20분간 열처리하여 MIM을 제작하는 경우 HfO₂의 특성이 급격하게 저하되는 것으로 관찰되었다. 일례로 상대유전율은 ~19에서 ~15로 감소하였다. 특히 그림 3에 나타난 결과에서 볼 수 있듯이 누설전류는 급격하게 증가하며 항복전계도 ~3.13 Mv/cm에서 ~2.05 Mv/cm로 감소하였다. 이러한 현상은 Al₂O₃를 사용하였을 경우에도 관찰되었으며 그 원인은 유전체 박막 내 micro void가 성장하여 누설전류가 흐를 수 있는 경로가 증가하는데 따른 것으로 사료된다.

3.2. MOS 커패시터

MOS 커패시터의 누설전류는 RF 전력이 증가함에 따라 100배 정도 감소하는 것으로 관찰되었으며 동일한 조건으로 제작된 MIM 커패시터 경우에 비해 누설전류가 RF 전력에 따라 10²~10⁴ 정도 큰 것으로 조사되어 HfO₂의 특성이 ZnO와의 반응에 의해 현저히 나빠지는 것으로 관찰되었다. 하지만 ZnO 박막의 특성이 박막을 준비하는 환경에 매우 민감하게 변화를 보임에 따라 이를 기반으로 제작된 소자의 특성 또한 박막 준비 과정에 따라 변화된 특성을 보이게 되어 재현성이 낮은 편인 것으로 조사되었다. 이러한 재현성 문제를 보완하기 위해 ZnO 박막 증착 후 표면을 처리하여 전기적 특성을 조정하는 방법으로 UV 오존 처리에 따른 영향을 분석하였다.

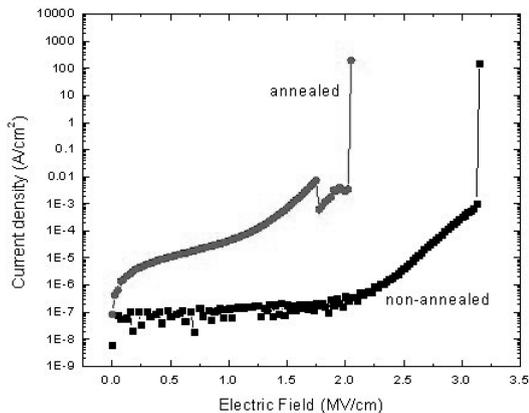


Fig 3. Leakage current and breakdown field of MIM capacitor fabricated with either annealed or non-annealed HfO₂ (The leakage current was measured at the electric field of 1.25 MV/cm).

그림 4에는 UV 오존 처리 시간에 따른 C-V 특성곡선을 제시하였다. 인가전압에 따른 커패시턴스 변화가

매우 작은 것을 볼 수 있는데 이는 ZnO를 능동층으로 사용하여 MOS 커패시터를 제작하는 경우 능동층의 높은 저항 때문에 기인한 것으로 보고되고 있다[10]. 하지만 본 결과는 오존 처리를 안 했거나(UV0) 처리 시간이 짧은 경우(15분 처리: UV15)에 비해 상대적으로 오랜 시간 처리한 샘플의 경우(60분 처리: UV60, 120분 처리: UV120) accumulation 영역에서의 커패시턴스 증가 정도가 현저히 작음을 나타내고 있다. Accumulation 영역에서의 커패시턴스 급격한 증가는 인가전압에 따른 누설전류의 증가에 의한 것이다. 따라서 비교적 오랜 시간 UV 오존에 의해 처리된 ZnO의 경우 게이트 누설전류가 감소되는 등 특성이 향상된다는 것을 알 수 있다.

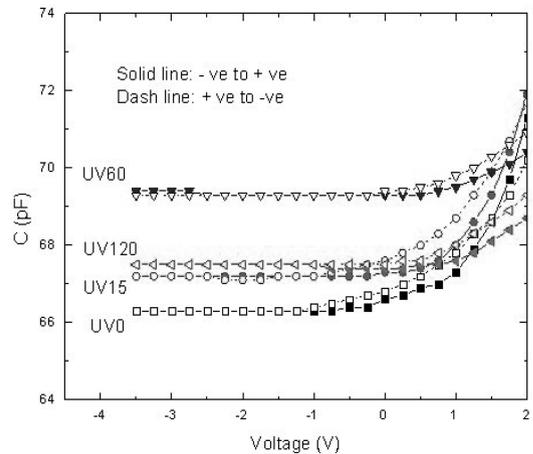


Fig 4. C-V characteristics of MOS capacitor made with UV ozone treated ZnO as function of treatment time.

특히 ‘문턱전압’의 변화도 그림 5에 제시한 바와 같이 오존 처리 시간에 따라 초기에는 +방향으로 이동하다가 포화되는 듯한 경향을 보이는 것으로 조사되었다. 여기서의 ‘문턱전압’은 depletion 영역에서 일정하게 유지되는 커패시턴스가 증가하기 시작하는 게이트 전압 즉, dC/dV가 0에서 양의 값으로 변화하는 전압으로 정의하였다. 이러한 결과는 UV 오존 처리 조건을 조절함으로써 TTFT의 문턱전압을 임의로 조절할 수 있는 가능성을 암시하는 것이다.

이러한 문턱전압의 이동 경향과 본 연구에서 관찰된 C-V 특성 결과를 종합하여 볼 때 오존 처리에 따라 샘플 내에서 donor로 작용하는 V_o 등의 결함이 감소하고 acceptor로 작용하는 oxygen interstitial (O_i)의 결함이 증가하는 것으로 사료된다. 즉, 이러한 결함 종류 및

밀도 변화에 따라 ZnO 박막의 전도도가 n형에서 n형을 거쳐 진성반도체와 유사한 특성을 갖게 되는 것으로 보인다. 아울러 산소 플라즈마 등 효율적인 활성 산소 공급 방법을 활용하면 p형이나 p형으로 전도형태를 변환할 수도 있을 것으로 기대된다.

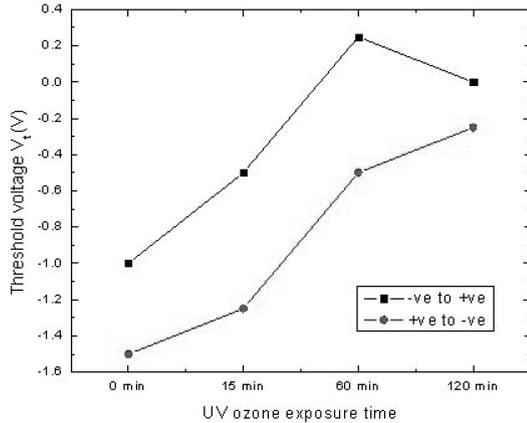


Fig 5. Threshold voltage of MOS capacitor as function of UV ozone treatment time.

4. 결 론

본 연구에서는 ZnO 박막을 능동층으로 하고 HfO_2 , Al_2O_3 등을 유전체로 사용한 MIM 커패시터 및 MOS 커패시터를 제작하여 특성을 분석하였다. 우선 MIM 커패시터의 경우 유전체 박막의 두께에 따라 percolation 현상에 의해 게이트 누설전류는 크게 증가하고 항복전계값은 감소하였다. 또한 유전체 증착 후 열처리를 하는 경우 박막 내의 micro void가 성장하여 특성이 급격히 감소하는 것으로 조사되었다. 반면 MOS 커패시터의 경우 같은 조건으로 제작한 MIM 커패시터에 비해 누설전류가 큰 것으로 조사되어 ZnO 박막과 유전체 간 경계면에서의 반응에 따라 전기적 특성이 저하됨을 알 수 있었다. 커패시터의 특성은 ZnO 박막 표면을 UV 오존으로 처리함에 따라 변화하여 게이트 누설전류가 크게 감소하며 특히 문턱전압의 경우 음의 값에서 양의 값으로 변화하는 것을 관찰하였다. 이는 곧

ZnO 박막 표면을 UV 오존이나 산소 플라즈마 등으로 처리하여 enhancement 모드 TFTT 제작이 가능함을 암시하는 것이다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2009-013- D00044).

참고문헌

1. W. Yang, Z. Liu, D.-L. Peng, F. Zhang, H. Huang, Y. Xie, Z. Wu, Appl. Surf. Sci. 255, 5669, 2009.
2. S. H. Cha, M. S. Oh, K. H. Lee, S.-I. Im, B. H. Lee, and M. M. Sung, Appl. Phys. Lett. 92, 23506, 2008.
3. D.-H. Kang, H. Lim, C.-J. Kim, I.-H. Song, J.-C. Park, Y.-S. Park, and J.-H. Chung, Appl. Phys. Lett. 90, 192101, 2007.
4. E.-J. Yun, H.-S. Park, K. H. Lee, H. G. Nam, and M. Jung, J. Appl. Phys. 103, 73507, 2008.
5. Y. J. Zeng, Z. Z. Ye, W. Z. Xu, B. Liu, Y. Che, L. P. Zhu and B. H. Zhao, Materials Lett. 61, 41, 2007.
6. B. Yao, L. X. Guan, G. Z. Xing, Z. Z. Zhang, B. H. Li, Z. P. Wei, X. H. Wang, C. X. Cong, Y. P. Xie, Y. M. Lu, and D. Z. Shen, J. Luminescence 122-123, 191, 2007.
7. T. Hirao, M. Furuta, H. Furuta, and T. Matsuda, SID Symp. Digest Tech. Papers 37(1), 18, 2006.
8. Y. Kwon, Y. Li, Y. W. Heo, M. Jones, P. H. Holloway, D. P. Norton, Z. V. Park, and S. Li, Appl. Phys. Lett. 84 (14), 2685, 2004.
9. S. Lombardo, J. H. Stathis, B. P. Linder, K. L. Pey, F. Palumbo, and C. H. Tung, J. Appl. Phys. 98, 121301, 2005.
10. C. H. Park, K. H. Lee, M. S. Oh, K. Lee, S. Im, B. H. Lee, M. M. Sung, IEEE Elect. Dev. Lett. 30(1), 30, 2009.

접수일: 2010년 9월 2일, 심사일: 2010년 9월 13일,
게재확정일: 2010년 9월 15일