

상온에서 RF 스퍼터링 방법으로 증착한 Hafnium Oxide 박막의 저항 변화 특성

한 용¹, 조경아², 윤정권², 김상식^{1,2,a}

¹ 고려대학교 나노반도체공학과

² 고려대학교 전기전자전파공학과

Resistive Switching Characteristics of Hafnium Oxide Thin Films Sputtered at Room Temperature

Yong Han¹, Kyoungah Cho², Junggwon Yun², and Sangsig Kim^{1,2,a}

¹ Department of Nano Semiconductor Engineering, Korea University, Seoul 137-701, Korea

² Department of Electrical Engineering, Korea University, Korea University, Seoul 137-701, Korea

(Received July 29, 2011; Revised August 22, 2011; Accepted August 24, 2011)

Abstract: In this study, we fabricate resistive switching random access memory (ReRAM) devices constructed with a Al/HfO₂/ITO structure on glass substrates and investigate their memory characteristics. The hafnium oxide thin film used as a resistive switching layer is sputtered at room temperature in a sputtering system with a cooling unit. The Al/HfO₂/ITO device exhibits bipolar resistive switching characteristics, and the ratio of the high resistance (HRS) to low resistance states (LRS) is more than 60. In addition, the resistance ratio maintains even after 10⁴ seconds.

Keywords: ReRAM, Bipolar, HfO₂ thin film

1. 서론

저항변화 메모리 (resistance random access memory, ReRAM) 소자는 metal-insulator-metal의 단순 구조로 제작 및 고집적화가 용이하고 저 전력으로 구동 가능하며 retention 특성이 우수하다는 장점이 있다 [1-7]. 이러한 장점으로 인해 저항변화 메모리 소자는 현재의 scaling down의 한계를 극복할 수 있는 차세대 메모리 로써 각광받고 있다. 한편 ReRAM의 특성을 결정하는 중요한 요소 중 하나는 ReRAM의 제작에 쓰이는 저항변화 물질로, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고

있으나, 아직까지 저온공정에서의 ReRAM 제작에 대한 연구는 미미한 수준이다. 저온 공정은 플렉시블 플라스틱 일렉트로닉스 제작에 있어 중요한 요소로 차세대 플라스틱 전자소자제작을 위해서는 개발되어야 할 기술이라 할 수 있다. 최근에 HfO₂ 박막은 산화물 저항변화 물질 중에서 저항변화메모리 특성이 우수하다고 알려져 차세대 유망 ReRAM 물질로 부각되고 있다 [8-11]. 그러나, HfO₂ 박막을 이용한 ReRAM 소자는 대부분 300°C 이상에서 제작되어 차세대 플라스틱 기반 ReRAM 소자로 활용되기에는 어려움이 있다 [8-13]. 따라서, 본 연구에서는 저항변화메모리 특성이 우수한 HfO₂ 박막을 수냉장치가 부착된 RF 스퍼터 시스템을 이용하여 상온에서 형성하고 ReRAM 소재로써의 특성을 조사하였다.

a. Corresponding author; sangsig@korea.ac.kr

2. 실험 방법

본 연구에서 제작한 저항변화 메모리 소자는 상업용으로 판매되고 있는 ITO (indium tin oxide) 코팅된 유리기판을 사용하여, ITO를 하부전극으로 사용하였다. ITO 전극 위에 HfO₂ 박막을 RF 스퍼터링 방법으로 120 W의 파워로 45분 간 증착한 후, thermal evaporation 방법으로 300 μm 직경의 메탈마스크를 이용하여 알루미늄 전극을 증착하였다. 저항변화 층으로 사용된 HfO₂ 박막의 두께는 FE-TEM (field emission transmission electron microscope)을 이용하여 측정하였다. 메모리 특성 측정에는 HP4155C를 이용하였는데, 소자의 한쪽 끝에 cathode 쪽의 프로브 팁으로 HfO₂ 박막을 뚫어 ITO 하부 전극에 직접 접촉하게 하고, anode 쪽의 프로브 팁은 Al 상부 전극과 접촉하여 측정하였다.

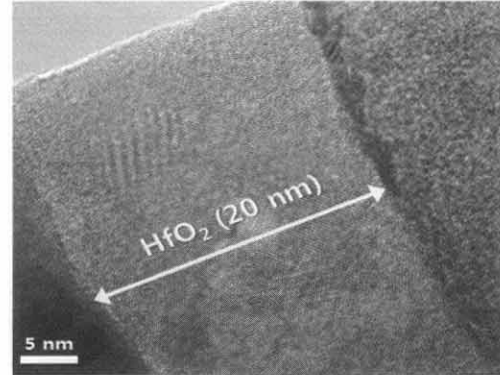


Fig. 1. Cross-sectional FE-TEM image of a sputtered HfO₂ thin film.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 상온에서 RF 스퍼터로 증착된 HfO₂ 박막의 cross-sectional FE-TEM 이미지로, 약 20 nm의 HfO₂ 박막이 증착된 것을 알 수 있다.

Al/HfO₂/ITO 소자의 I-V 특성은 그림 2에서 보듯이, set과 reset 동작이 반대의 극성에서 나타나는 bipolar 메모리 특성으로, 각각 -3 V와 +3 V 전후에서 저항변화 스위치 현상이 발생하였다. 이에 대한 메카니즘은 기존에 잘 알려져 있는 oxygen vacancy에 의한 필라멘트 모델로 설명될 수 있다 [11,14]. HfO₂ 박막 내에 존재하는 oxygen vacancy에 의해 형성된 하부전극과 상부전극 간의 전류 통로는 3 V 전후의 전압에서 높은 전류의 joule heating에 의해 끊기게 되어 이후 저항이 높은 상태인 high-resistance state (HRS)로 변하게 된다. 극성을 negative로 바꾸어 -3 V의 전후의 전압을 가 해주게 되면 주입되는 전자와 박막 내의 oxygen이 결합하여 oxygen 이온이 생성되고 oxygen 이온이 이동한 자리는 oxygen vacancy로 회복하게 된다. 이후 oxygen vacancy로 이루어진 전류 통로로 상부전극과 하부전극 간에 전류가 잘 흐를 수 있는 상태인 LRS (low-resistance state)로 스위칭하게 되는데 이와 같은 스위칭 현상은 전압의 극성과 크기에 따라 반복적으로 수행된다. 그림 2는 제작된 소자의 대표적인 I-V curve와 전류의 스위칭 방향을 보여주고 있다.

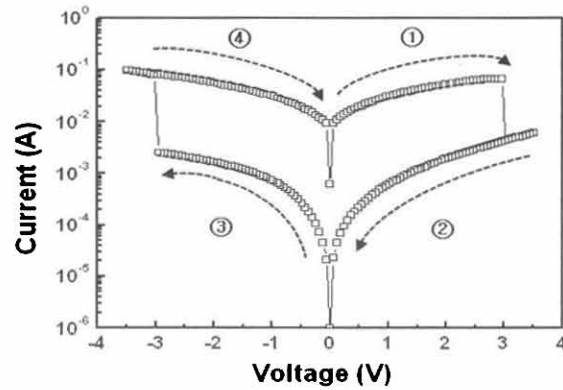


Fig. 2. Representative I-V curve of Al/HfO₂/ITO device.

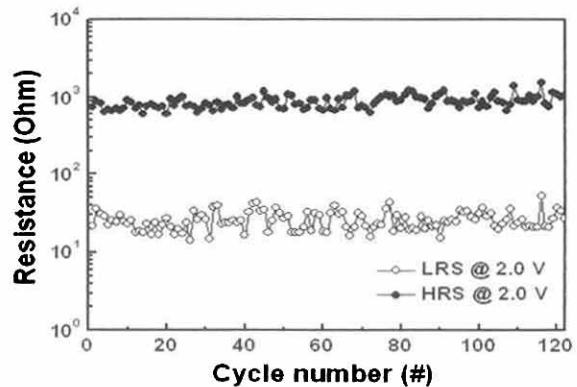


Fig. 3. Endurance characteristics of the Al/HfO₂/ITO device.

그림 3은 120회까지 측정된 I-V curves를 이용하여 LRS와 HRS 상태에서 2 V의 전압에서 측정된 전류로 계산된 저항값으로 얻어진 endurance test 결과로, LRS와

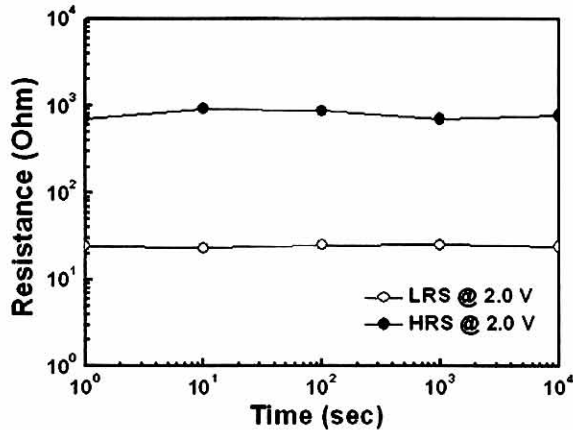


Fig. 4. Retention characteristics of the Al/HfO₂/ITO device.

HRS의 저항비는 60 이상으로 확인되었고, 이러한 저항비는 120번의 스위칭 시에도 거의 변하지 않았다.

그림 4는 Al/HfO₂/ITO 소자의 LRS와 HRS의 retention 특성을 보여주고 있다. 10⁴초까지 측정 후에도 각각의 저항상태를 일정하게 유지하고 있는 것이 확인되며, 이를 토대로 계산해 보면, 10년 이상 정보의 저장상태가 지속할 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 저항변화물질인 HfO₂를 상온에서 RF 스퍼터링으로 증착하여 Al/HfO₂/ITO/glass 구조의 저항 변화 메모리 소자를 제작하였다. Al/HfO₂/ITO의 소자는 bipolar 저항변화 현상을 보였으며, LRS와 HRS의 저항비는 60 이상이었다. 그 저항비는 120번의 스위칭에도 거의 변하지 않았으며, 10⁴초 후까지도 LRS와 HRS의 저항상태는 거의 일정하게 유지되었다. 본 연구는 상온에서 RF 스퍼터링 방법으로 ReRAM 소자를 제작하여 그 특성을 확인함으로써, 저온공정이 필수적인 차세대 플라스틱 전자소자 제작에 있어서도 상온 RF 스퍼터링 방법이 활용될 수 있음을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단이 지원하는 나노원천기술개발사업 (CINS), 세계수준의 연구중심대학 육성사업 (WCU) 과 한국산업기술평가원이 지원하는 핵심기반기술개발사업 (시스템IC2010), 서울시 산학연 협력사업 (PA090914), 고려대학교 나노반도체 프로그램의 산학위탁 연구비 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] J. W. Yun, K. A. Cho, B. J. Park, B. H. Park, and S. S. Kim, *J. Mater. Chem.*, 19, 2082 (2009).
- [2] E. Fortunato, A. Gonçalves, A. Pimentel, P. Barquinha, G. Gonçalves, L. Pereira, and I. Ferreira, *Appl. Phys.*, A96, 197 (2009).
- [3] S. H. Lee, H. J. Kim, D. J. Yun, S. W. Rhee, and K. J. Yong, *Appl. Phys. Lett.*, 95, 262113 (2009).
- [4] L. M. Kukreja, A. K. Das, and P. Misra, *Bull. Mater. Sci.*, 32, 247 (2009).
- [5] K. Nagashima, T. Yanagida, K. Oka, and T. Kawai, *Appl. Phys. Lett.*, 94, 242902 (2009).
- [6] P. Misra, A. K. Das, and L. M. Kukreja, *Phys. Status Solidi.*, C7, 1718 (2010).
- [7] J. W. Seo, J. W. Park, K. S. Lim, J. H. Yang, and S. J. Kang, *Appl. Phys. Lett.*, 93, 223505 (2008).
- [8] M. Y. Chan, T. Zhang, V. Ho, and P. S. Lee, *Microelectron. Eng.*, 85, 2420 (2008).
- [9] C. Walczyk, C. Wenger, R. Sohal, M. Lukosius, A. Fox, J. Dąbrowski, D. Wolansky, B. Tillack, H. J. Müssig, and T. Schroeder *J. Appl. Phys.*, 105, 114103 (2009).
- [10] S. H. Lee, W. G. Kim, S. W. Rhee, and K. J. Yong, *J. Electrochem. Soc.*, 155, 92 (2008).
- [11] P. Gonon, M. Mougnot, C. Vallée, C. Jorel, V. Jousseume, H. Grampeix, and F. E. Kamel, *J. Appl. Phys.*, 107, 074507 (2010).
- [12] Y. Wang, Q. Liu, S. Long, W. Wang, Q. Wang, M. Zhang, S. Zhang, Y. Li, Q. Zuo, J. Yang, and M. Liu, *Nanotechnology*, 21, 045202 (2010).
- [13] K. R. Kim, I. S. Park, J. P. Hong, S. S. Lee, B. L. Choi, and J. H. Ahn, *J. Korean Phys. Soc.*, 49, 548 (2006).
- [14] R. Waser, R. Dittmann, G. Staikov, and K. Szot, *Adv. Mater.*, 21, 2632 (2009).