열처리 온도 및 산화층 두께에 따른 ReRAM 특성 연구

최진형*, 이승철*, 조원주**, 박종태*

*국립인천대학교, **광운대학교

The Study on the Characteristics of ReRAM with Annealing Temperature and Oxide Thickness

Jin-hyung Choi*, Seung-cheol Lee*, Won-Ju Cho**, Jong-tae Park*

*Incheon National University, **Kwangwoon University

E-mail : wls890710@hanmail.net

요 약

본 연구에서는 열처리를 하지 않은 소자와 열처리 소자의 기본 특성을 비교, 분석하고 온도에 따른 특성 변화를 확인하였다. 사용된 소자는 상부전극이 Pt/Ti(150nm), 하부전극은 Pt(150nm), 산화층은 HfO_2(70nm)이고, 열처리 온도는 500℃, 850℃ 이다. 측정 소자 성능은 Set/Reset 전압, sensing window(저항상태 차이)다. 측정결과 세 종류의 소자의 기본 특성은 열처리별 온도가 높을수록 Set/Reset전압과 sensing window가 증가하였다. 온도에 따른 기본특성 분석 실험 결과 온도가 증가함에 따라 Set/Reset전압과 sensing window가 감소하였다. Set/Reset 전압의 온도에 따른 변화율은 850℃ 열처리한 소자가 제일 작았고, sensing window의 변화율은 500℃ 열처리 소자에서 가장 작은 변화율을 보였다. Set/Reset 전압의 변화율 과 sensing window를 고려했을 때 500℃ 열처리 소자가 좋은 메모리 특성을 보였다.

ABSTRACT

In this work, we have been analyzed the characteristics of ReRAM with different annealing condition and temperature. The ReRAM devices with top electrode=150nm, bottom electrode=150nm, oxide thickness=70nm and annealing temperature=500℃, 850℃ have been used in characterization. The Set/Reset voltage, sensing window and resistivity have been characterized. From the measurement results, the Set/Reset voltage and sensing window have been enhanced as the annealing temperature has been increased. But it has been decreased as the temperature performance has been increased. In case of the annealing temperature=850℃, the variation of Set/Reset voltage was lower than that of other condition. But the variation of sensing window was the lowest when the annealing temperature was 500℃. With considering the variation of Set/Reset voltage and sensing window, the devices annealed at 850℃ showed the best performance to ReRAM.

키워드

ReRAM, annealing temperature, Set/Reset voltage, sensing window

Ⅰ. 서 론

현재 flash memory의 scaling 한계로 인하여 Resistive Random Access Memory (ReRAM)이 차세대 메모리로 대두되고 있다. ReRAM의 특징으로는 낮은 전력소모, 높은 switching 속도, 간단한 공정, 고집적도, 비휘발성 등이 있다.

최근에는 NiOx, TiOx, CuOx, HfOx 등 다양한 물질과 공정방법에 따라 가장 우수한 성능을 얻어낼 수 있는 방법에 대한 연구가 진행 중이다.

박막이 NiO로 제작된 ReRAM에서 열처리에 따른 저항상태 및 forming 전압은 열처리 온도가 증가할수록 모두 증가하는 결과를 보인다.[1]

또한 FeO_3로 제작된 ReRAM에서 박막두께에 따라 Set/Reset에 영향을 주지 않는다는 결과가 있고,[2] HfO_2로 이루어진 경우에 Forming 전압은 두께가 얇아질수록, 감소하는 결과를 보였다.[3]

이 논문에서는 물질을 이용하여 우수한 성능을 얻어내는 연구보다는 소자가 외부환경으로부터 받는 영향에 대해 연구하였다. 즉, 공정방법에 따른 열처리 및 두께의 변화, 그리고 온도변화에 따른 소자의 특성에 초점을 맞추었다.

첫 번째로 열처리 소자에 대하여 온도가 변함에 따라 나타나는 Set/Reset전압의 변화와 저항상태를 비교하였다, 두 번째로는 소자의 두께에 따라서 온도가 변화할 경우 나타나는 소자의 안정화를 비교하였다.

Ⅱ. 소자 제작

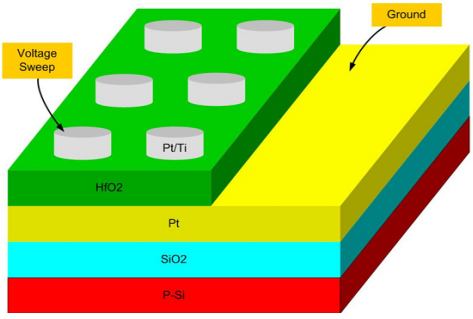

그림 1. Sputtering 방법을 이용한 ReRAM device

그림1은 Hafnium Oxide를 기반으로 제작한 ReRAM이다. 구조는 간단한 MIM 구조로서 300nm의 thermal oxide가 성장된(100)방향의 p-type Si 기판 상에 e-beam evaporation을 이용하여 상부전극은 Pt/Ti(150nm), 하부전극에 Pt(150nm)를 증착하였다. Si/SiO_2/Pt기판을 acetone과 iso-propanol에서 초음파 세정을 실시하여 표면의 이물질을 제거하였으며 HfO_2는 (45nm,70nm)로 제작하였다. 열처리 온도는 500℃,800℃이다.

Ⅱ-1 열처리 조건에 따른 소자 온도 특성

그림2에서는 ReRAM 소자의 DC전압 sweeping에 의한 기본적인 I-V특성을 나타내었다. 이 실험에서는 박막 두께가 70nm 이고 500℃에서 열처리된 소자의 온도 특성을 측정한 결과이다. 측정방법은 하부전극을 접지시키고 상부전극에 external bias를 인가해주며 기판의 온도를 증가시키는 방법으로 측정하였다. DC 전압을 0에서 positive 방향으로 sweep하면 산소 이온이 상부전극으로 이동한다. 이때 생성된 vacancy로 인해 Filament가 형성되어 Current path로써 역할을 한다. 위의 소자에서는 저온에서 고온으로 갈수록 각각 1.85V, 1.52V, 1.44V 로 Set 동작이 발생하였다. 이때 hard breakdown 방지를 위해 Set동작의 Current-compliance를 10mA로 고정하여 측정하였다. Reset동작은 negative 방향으로 DC sweep을 하면서 측정하였더니 상부전극에 있던 산소이온이 vacancy 와 재결합하여 current path가 차단되어 각각 -0.52V, -0.5V, -0.47V에서 전류가 급격하게 감소하는 특성을 나타냈다.

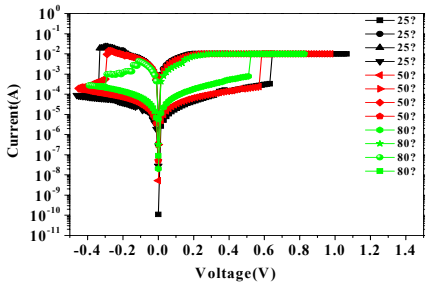

그림 2a. 박막 두께 70nm, 기본 소자의 온도 특성 I-V 그래프

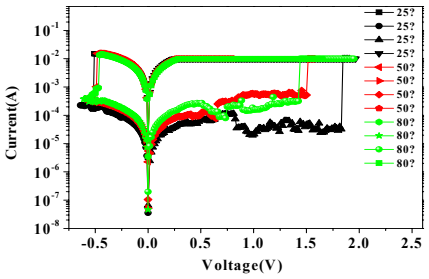

그림 2b. 박막 두께 70nm, 500℃ 열처리 소자의 온도 특성 I-V 그래프

그림 2는 열처리 조건이 다른 세 종류의 소자(기본, 500℃,800℃)의 온도 특성을 I-V형태로 나타낸 그래프이다. 500℃열처리 소자가 온도에 따라 저항의 변화율이 가장 적은 상태를 유지하였고, Sensing Window도 10^2 이상으로 측정되어 우수한 동작특성을 나타냈다.

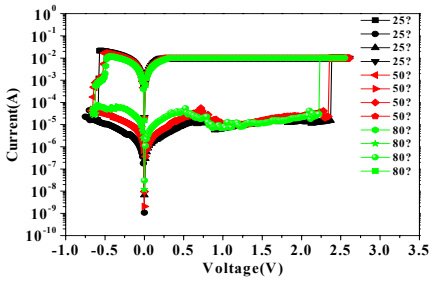

그림 2c. 박막 두께 70nm, 850℃ 열처리 소자의 온도 특성 I-V 그래프

전체적으로 세 가지 소자 모두 상온에서 고온으로 갈수록 HRS 전류는 점차 증가하고, LRS의 전류는 점차 감소하게 된다. 따라서 저항상태 차이가 줄어들게 되어 소자의 메모리 특성이 감소하게 된다. 이러한 특성이 나타나는 이유는 Crystal defect theory에 의해 설명되어진다. [4-5]

$$\triangle window \propto \exp(-E_a/k_BT) \quad (1)$$

여기서 △window는 read 전압 0.1V일 때 저항차이이고, E_a는 활성화 에너지이며 T는 절대온도이다. 상부 전극과 유전체 사이의 경계면에서 온도 증가에 따른 결함이 형성된다. On 상태 일 때는 이 결함으로 인하여 전류가 감소한다. Off 상태 일 때는 결함이 trap역할을 하며 trap으로 인한 터널링 효과로 인해 leakage가 발생하여 전류가 증가 한다.

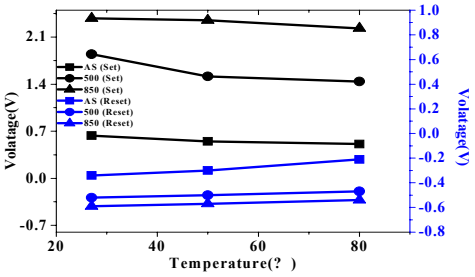

그림 3. 온도에 따른 열처리 소자의 Set/Reset 전압

그림 3은 소자의 Set/Reset의 변화를 나타낸 그래프다. 상온에서 고온으로 갈수록 Set/Reset 전압이 감소하는 이유는 다음과 같이 설명되어진다. 온도가 증가함에 따라 결함이 경계면에서 발생하고 이 결함이 trap 역할을 하여 경계면의 전위장벽을 낮춘다. 따라서 식 (1)에서 보는 바와 같이 산소이온이 전위장벽을 넘어가는 확률이 증가하고 더욱이 온도증가에 따른 산소이온의 이동도가 증가하기 때문에 Set/Reset의 전압이 낮아진다.[3]

II-2 박막 두께가 다른 소자의 온도 특성

그림 4는 박막 두께가 45nm 이고 500℃에서 열처리된 소자의 온도 특성을 측정한 결과이다. 온도가 증가할수록 소자의 Set전압이 저온도 순서대로 각각 0.98V, 0.82V, 0.7V로 감소하였고, 마찬가지로 Reset 전압도 -0.76V, -0.68V, -0.64V로 측정되었다. Sensing Window도 온도증가에 따라 감소하였다.

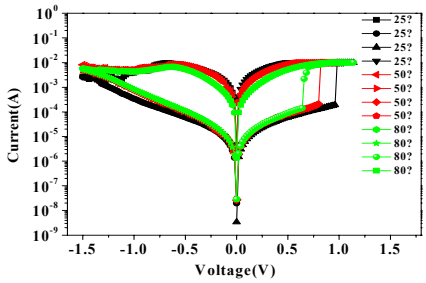

그림 4. 박막 두께 45nm의 500℃ 열처리 소자의 I-V 특성 그래프

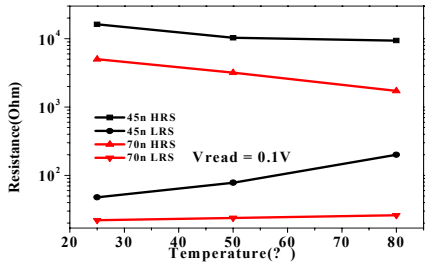

그림 5a. 박막 두께와 온도 특성의 저항상태 그래프 (Vread=0.1V)

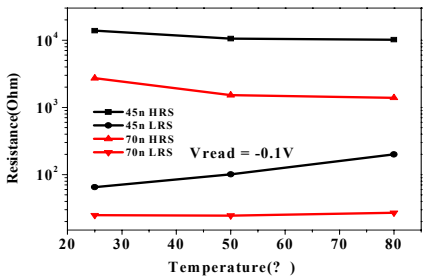

그림 5b. 박막 두께와 온도 특성의 저항상태 그래프 (Vread=-0.1V)

그림 5는 박막두께가 45nm, 70nm인 소자의 온도 특성을 측정하여 소자의 안정도를 비교한 그래프이다. 45nm와70nm를 비교 한 결과, Set/Reset 전압과 Sensing Window는 두께에 따른 관계는 없었다. 하지만 온도에 따른 특성을 비교했을 때, 고온으로 갈수록 두 가지 측정 소자 모두 Sensing Window가 감소하였다. 하지만 상온에서 고온으로 갈수록 두께가 70nm인 소자에서 Sensing Window

의 변화율이 더 적어 두께 45nm의 소자보다 온도의 변화에 비교적 안정된 상태를 보였다.

III. 결 론

Hafnium oxide를 유전체로 한 ReRAM을 제작하여 온도에 따른 소자 신뢰도 특성을 측정 분석하였다. 열처리 조건과 박막 두께에 따라 온도 특성을 비교, 분석하는 실험을 하였고 소자의 안정적인 메모리 특성에 관한 연구를 하였다.

결과적으로, 열처리 소자 중에서 500℃ 열처리 소자가 온도에 따라 저항의 변화율이 적어 안정적인 메모리 특성을 나타냈고, 같은 조건하에 박막두께를 70nm로 공정한 경우가 우수한 소자 특성을 보였다.

참고문헌

[1] H kondo, H Kaji, T Fujii, K hamada, MArita, YTakahashi " The influence of annealing temperature ong ReRAM characteristics of metal/NiO/metal structure " IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 8(2010) p. 012034

[2] I. H. Inoue, S. Yasuda, H. Akinaga, and H. Takagi, " Nonpolar resistance switching of metal / binary-transition-metal oxides / metal sandwiches : Homogeneous / inhomogeneous transition of current distribution, " Phys. Rev. B, vol. 77, p.035105, 2008

[3] H. Y. Lee, P. S. Chen, T. Y. Wu, Y. S. Chen,C. C. Wang, P. J. Tzeng, C. H. Lin, F. Chen,C. H. Lien, and M.-J. Tsai, BLow power and high speed bipolar switching with a thin reactive Ti buffer layer in robust HfO2 based RRAM,[in Tech. Dig. IEEE Int. Electron Devices Meeting, 2008, pp. 297-300.

[4] Z. Fang, H.Y.Yu, W.J.Liu, N. Singh, G.Q.Lo " Resistive RAM Based on HfOx and its Temperature Instability Study" World Academy of Science, Engineering and Technology 48, 2010

[5] C.Kittel, "Introduction to solid state Physics (8th ed)," pp. 585-591

[6] R. Meyer, L. Schloss, J. Brewer, R. Lambertson, W.Kinney, J. Sanchez, and D. Rinerson, "Oxide dual-layer memory elemet for scalable nonvolatile cross-point memory technology," in NVMTS Proc., 2008, pp. 1-5

[7] Christian Walczyk, Damian Walczyk, Thomas Schroeder, Thomas Bertaud, Malgorzata Sowinska, Mindaugas, Mirko Fraschke, Dirk Wolansky, Bernd Tillack, Enrique, IEEE, and Christian Wenger "Impact of Temperature on the Resistive Switching Behavior of Embedded HfO_2-Based RRAM Devices" IEEE Trans. Electron Devices. Vol. 58. NO.9. September pp.3124-3131, 2011

[8] H Kondo, H Kaji, T Fuji, K Hamada, MArita, YTakahashi "The influence of annealing temperature on ReRAM charactersitics of metal/NiO/metal structure" IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering8 (2010) p. 012034

[9] H.-S. Philip Wong, Heng-Yuan Lee, Shimeng Yu, Yu-Sheng Chen, Yi Wu, Pang-Shiu Chen, Byoungil Lee, Frederick T. Chen, Ming-jinn Tsai "Metal-oxide RRAM" Proceedings of the IEEE Vol. 100,No.6, pp.1951-1962, 2012