

칼코게나이드 박막의 전기적 펄스에 의한 상변화 특성 연구

양성준, 신경, 이기남, 정홍배
 광운대학교 전자재료공학과

The study of phase-change with electric field on chalcogenide thin films

Sung-Jun Yang, Kyung Shin, Ki-Nam Lee, Hong-Bay Chung
 Department of Electronic Materials Eng. Kwangwoon Univ

Abstract - We have been investigated phase-change with temperature and electric field in chalcogenide $Ge_2Sb_2Te_5$ thin film. T_c (crystallization temperature) is confirmed by measuring the resistance and conductivity with the varying temperature on the hotplate. We have measured I-V characteristics with $Ge_2Sb_2Te_5$ chalcogenide thin film. It is compared with I-V characteristics after impress the variable pulse. The pulse has variable height and duration that used voltage and current source.

1. 서 론

칼코게나이드를 기본으로 한 상변화 메모리 (Phase-change RAM 또는 Chalcogenide based RAM 이하 C-RAM)는 R.G. Neale, D.L. Nelson and Gordon E. Moore in 1970[1]에 의해 보고 되었다. 비정질 칼코게나이드 반도체의 박막 경계면의 전기적 특성[2]과 비정질 칼코게나이드 반도체의 ON-OFF상태 전이특성[3]에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔고, 그 후 상변화 기술은 재기록이 가능한 CD와 DVD의 광디스크 저장매체의 발전으로 이어졌다[4]. 광학적, 전기적 디바이스의 동작을 이해하는데 중요한 기술의 발전은 차세대 비휘발성 메모리인 C-RAM을 이해하는데 중요한 모태가 되었다.[5,6]

C-RAM은 비휘발성 메모리로 비정질 칼코게나이드 물질을 기반으로 하여 비정질과 결정질 상태의 가역적 상변화를 이용한 비휘발성 메모리이다. 이런 상변화는 소자의 체적을 전기적인 펄스로 가열하고 냉각시키면서 상대적인 저항변화를 얻을 수 있다.[7]

C-RAM이 기타 다른 메모리와 경쟁력을 갖는 부분은 쓰기/읽기 성능, 내구성, 저전력 소자, 프로세스의 간단화, 비용, 그리고 CMOS embeddability을 들 수 있다. 쓰기/읽기 성능은 기존의 DRAM과 견줄만 하고 C-RAM의 공정은 기존의 CMOS 공정사이에 들어가 새로운 라인의 증설, 혹은 다른 공정의 추가 없이 양산이 가능하다.[8]

Ge-Te을 기본으로 하고 소량의 Sb를 첨가한 삼원계 시스템은 낮은 공용온도로 반복되는 상변화에도 안정한 상태를 보여준다.[9] 본 논문에서는 Te을 기본으로 한 삼원계 물질의 온도에 따른 T_c 를 확인하고 I-V특성을 실험하였다.

2. 본 론

2.1 Sample의 제작

본 연구에서는 Ge-Sb-Te 삼원계 물질을 선택하여 $Ge_2Sb_2Te_5$ 벌크를 제작하였다.[10] Thermal evaporator를 이용하여 1000Å의 박막을 ITO기판 위에 제작하였다. 그리고 상부전극으로는 Al을 1000Å증착하여 상하부 전극

을 제작하였다.

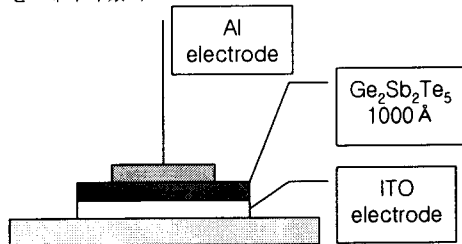


그림 1. 제작한 샘플의 모형도
 Fig. 1. Schematic illustrate of fabricated sample

2.2 Sample의 온도특성과 I-V특성 측정

온도 변화에 의한 저항변화를 실시간적으로 측정을 하였다. I-V특성은 Hewlett packard 4155B semiconductor parameter analyzer를 이용해 측정하였다. 온도 변화에 의한 저항변화를 실험을 하였고, I-V 특성은 전압, 전류에 의한 펄스로 스트레스를 가한 후 sweep을 이용하여 측정하였다.

비정질 칼코게나이드의 상변화는 T_c 이상의 온도 가열 후 냉각속도에 따라 결정질과, 비정질이 되고 이는 전기적 저항의 차이를 가져온다. 비정질 박막에 열을 가해 상온으로 냉각 시켰을 때, 충분한 열이 박막에 전해지면 결정질로의 상변화를 일으킨다. 여기서 T_c (crystallization temperature)를 확인할 수 있다. T_c 의 확인은 샘플에 열을 가하면서 저항 변화 및 전기전도도 측정으로 확인하였다.

2.3 결과 및 고찰

비정질 칼코게나이드의 상변화는 T_c 이상의 온도 가열 후 냉각속도에 따라 결정질과, 비정질이 되고 이는 전기적 저항의 차이를 가져온다. 비정질 박막에 열을 가해 상온으로 냉각 시켰을 때, 충분한 열이 박막에 전해지면 결정질로의 상변화를 일으킨다. 여기서 T_c (crystallization temperature)를 확인할 수 있다. T_c 의 확인은 샘플에 열을 가하면서 저항 변화 및 전기전도도 측정으로 확인하였다. 그림 2는 샘플의 온도변화에 따른 전도도 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보는바와 같이 T_c 는 404K 즉 131°C임을 알 수 있다. 가열하기전의 샘플의 저항은 5.6MΩ이고 냉각 후 저항은 219Ω을 얻었다. 즉 T_c 이상의 온도로 가열하고 상온으로 냉각시켰을 때 비정질에서 결정질로의 상변화를 일으켰다.

그림 3은 T_c 이하의 온도로 가열했을 때 저항변화를 살펴본 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 T_c 이하의 온도에서 상온으로 냉각시켰을 때 다시 비정질로 돌아오는 현상을 보인다.

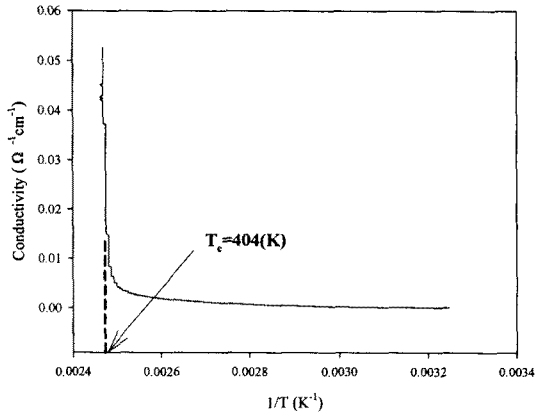


그림 2. 온도에 따른 전도도 변화 곡선
Fig. 2. Conductivity change curve with temperature

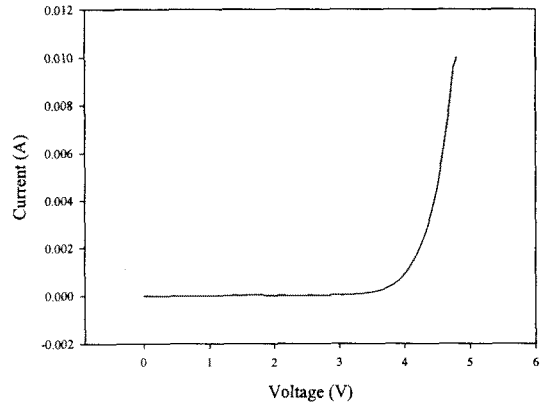


그림 4. 0V-10V sweep I-V 특성
Fig. 4. I-V characteristic curve with 0V-10V sweep

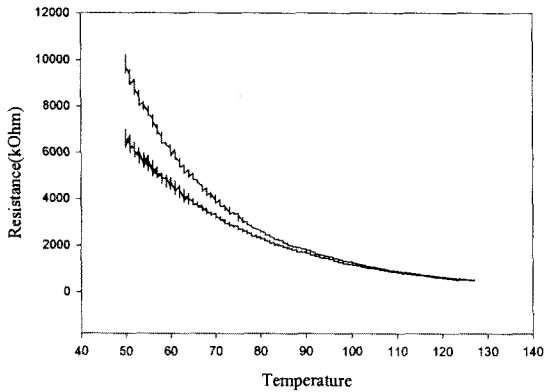


그림 3. 온도에 따른 저항변화 곡선
Fig. 3. Resistance change curve with temperature

다음은 전기적인 방법으로 상변화를 얻기 위한 I-V 특성을 관찰한 결과는 그림 4와 같다. 우선 I-V 특성을 측정하기 전에 연속적인 전기적 방법보다는 박막에 가열-냉각의 과정을 보기 위하여 전기적인 펄스형태로 인가하였다. 이때 펄스를 인가하기 전 각 소자의 동작특성을 알아보기 위하여 0V-10V의 전압범위까지 sweep 형태로 인가하였다. 또한 각 소자의 파괴를 막기 위하여 전류는 10mA로 제한하였다. 그림 4는 펄스를 인가하기 전 소자의 I-V 특성곡선으로 그림에서 보듯이 4V-5V 사이에서 임계전압을 얻을 수 있었다. 그림 5는 그림 4를 통해 알 아본 임계전압범위 내에서 보다 큰 5V의 전압으로 각각 다양한 duration을 가진 펄스를 인가 후 sweep을 하여 I-V 특성을 얻은 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 duration이 길어질수록 임계전압이 점점 증가하는 현상을 볼 수 있다. 이는 전압에 의한 stress가 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 박막에 heating 역할을 하여 I-V 특성 변화를 가져온 것으로 사료된다.

그림 6은 인가전압을 좀더 높은 10V의 전압으로 각각 여러 가지의 duration 가진 펄스를 인가 후 sweep을 하여 I-V 특성을 측정하였다. 그림 6 역시 duration이 길어질수록 임계전압이 증가하는 현상을 볼 수 있다. 그렇지만 펄스로 stress를 가하지 않은 상태에서 얻은 임계 전압보다 더 높은 임계전압을 보여주고 있다.

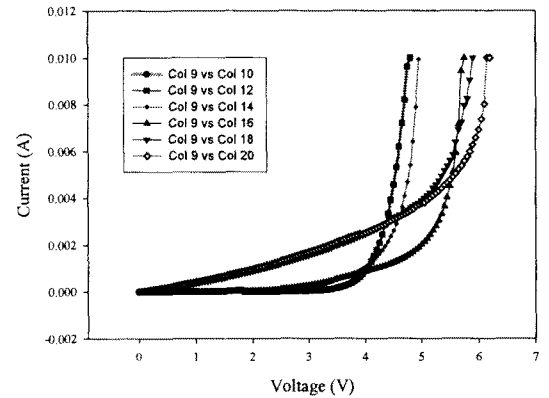


그림 5. 샘플에 5V의 height와 다양한 duration을 갖는 펄스를 인가 후 0V-10V sweep I-V 특성
Fig. 5. 0V-10V sweep after 5V height with variable duration

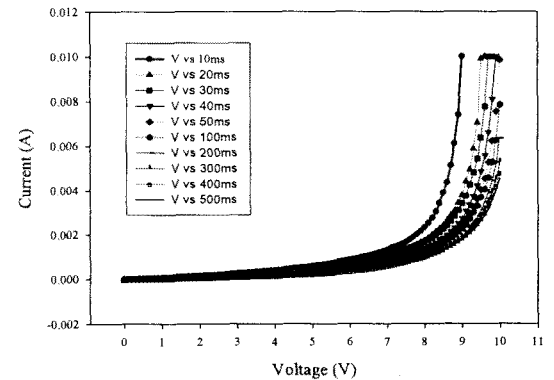


그림 6. 샘플에 10V의 height와 다양한 duration을 갖는 펄스를 인가 후 0V-10V sweep I-V 특성
Fig. 6. 0V-10V sweep after 10V height with variable duration

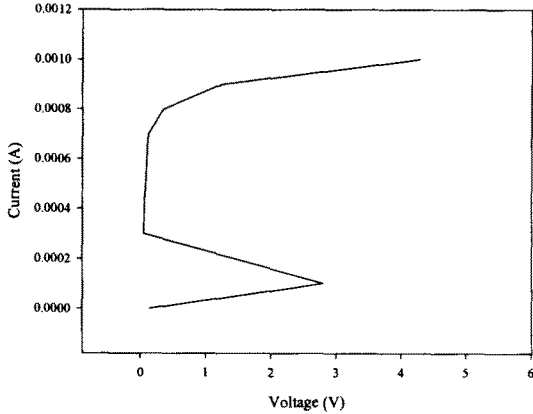


그림 7. 0mA~10mA sweep I-V 특성
Fig. 7. I-V characteristic curve with 0mA~10mA sweep

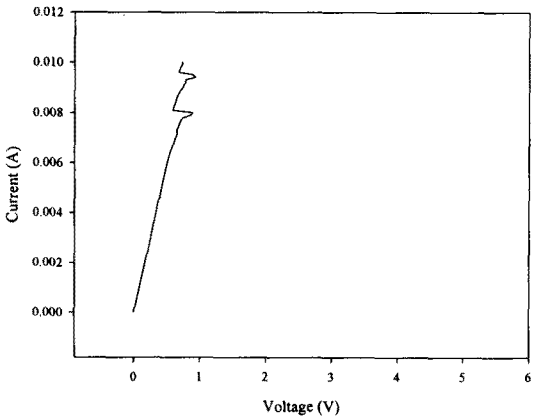


그림 8. 샘플에 1mA, 1ms 펄스를 가한 후 0mA~10mA sweep 특성
Fig. 8. 0mA~10mA sweep after 1mA height with 1ms

이전까지는 I-V 특성을 측정하는 경우 전압펄스형태로 실험을 하였지만 그림 7과 그림 8은 전류펄스형태로 stress를 가하고 전류로 sweep을 하여 얻은 I-V 특성이다. 그림 7에서 보는 것과 같이 먼저 전류로 sweep을 하였을 때, 처음엔 비정질 상태의 특성이 나오다가 결정질 상태의 그래프 특성을 얻을 수 있었다. 그리고 전류가 증가할수록 다시 비정질 상태의 그래프 특성을 볼 수 있다. 그림 8은 1mA의 전류를 1ms 가하고, sweep을 하여 얻은 I-V 특성 그래프이다. 펄스를 가하지 않은 샘플의 저항은 21M Ω 이었고, 그림 8의 결과를 얻은 후의 저항은 170 Ω 이었다. 이 결과를 보면 저항비가 약 10000이상 이 되어 On/Off 특성이 우수함을 알 수 있었으며, 또한 비정질에서 결정질로 다시 결정질 상에서 비정질 상으로 상변화가 일어난 것을 확인할 수 있었다. 이는 중요한 결과로서 전압형태보다는 전류형태로 sweep 하는 경우 Off/On 과 On/Off를 제어할 수 있다는 결과이다. 이는 상변화 메모리 소자의 적용에 있어서 전류제어 소자로서 응용이 가능하리라 사료된다.

3. 결 론

비정질 칼코게나이드 박막의 온도와 전기적 펄스에 따

른 상변화에 관한 실험을 하였다. heating과 상온으로 냉각시켰을 때 T_c 를 확인하고, 전압으로 stress를 인가한 후 I-V 특성을 측정, 그리고 전류 stress를 인가한 후 I-V 특성을 알아보았다. 온도변화에 의한 T_c 의 확인은 온도에 따른 저항변화, 전도도 변화를 알아봄으로 알 수 있었다. 전압 펄스 실험인 경우 duration이 큰 펄스를 인가할수록 박막의 임계전압이 증가하는 현상을 알 수 있었다. 이는 전압으로 스트레스를 가해 비정질 칼코게나이드 박막에 영향을 미치긴 하였지만 상변화는 일어나지 않았다. 또한 제어형태를 전류펄스형태로 실험하였을 때 저항이 큰 비정질 상태에서 작은 저항 값을 갖는 결정질 상태로의 변화(저항변화율:>10000)를 얻을 수 있었다. 이는 C-RAM의 응용에 있어서 전류제어형 소자로서의 응용이 가능하다는 결론을 얻었다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-041-D0023)

[참 고 문 헌]

- [1] R. Neale, D. Nelson, Gordon Moore, "Nonvolatile and reprogrammable, the read-mostly memory is here," *Electronic s*, pp56-60, Sept. 28, 1970.
- [2] Hong-Bay Chung*, Chang-Yub Park**, "Electrical Characteristics of the Thin Film Interface of Amorphous Chalcogenide Semiconductor," Yeonsei Univ**, Kwangwoon Univ*, Dec. 14, 1979
- [3] Hong-Bay Chung, Transition Characteristics of ON-OFF State of Amorphous Chalcogenide Semiconductor, "Kwangwoon Univ, Mar, 1980
- [4] N. Yamada, E. Ohno, K. Nishiuchi, N. Akahira, M. Taka o, "Rapid-phase transitions of GeTe-Sb₂Te₃ pseudobinary amorphous thin films for an optical disk memory", *J. Appl. Phys.*, v69 #5, pp2849-2857, 1991.
- [5] G. Wicker, " Nonvolatile, high density, high performance phase change memory.", *SPIE vol. 3891* pp2-9, Oct. 1999
- [6] G. Wicker, "A comprehensive model of submicron chalcogenide switching devices." Ph.D. Dissertation, Wayne State University, Detroit, MI 1996.
- [7] Scott Tyson, Steve Hudgens, Boil Pashmakov, Wally Czubatyi, "Total Dose Radiation Response and High Temperature Imprint Characteristics of Chalcogenide Based RAM Resistor Elements," *IEEE vol.47*, No. 6, December 2000
- [8] Stefan Lai, Tyler Lowrey, "OUM - A 180nb Nonvolatile Memory Cell Element Technology For Stand Alone and Embedded Applications," Intel Corporation, RN3-01
- [9] K. Nakayama, K Kojima, F hayakawa, Y Imai, "Submicron nonvolatile memory cell based on reversible phase transition in chalcogenide glasses", *Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39*, pp 6157-6161, 2000.
- [10] Jong-Hwa Park Jung-II Park, Eun-Su Kim, Hong-Bay Chung, "Holographic Grating Formation by Wet Etching of Amorphous As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ Thin Film", *Jpn. J. Appl. phys. Vol. 41*, p.4271. 2002.