

칼코게나이드 박막의 온도, 전압에 따른 상변화에 관한 연구

양성준*, 신 경*, 박정일*, 이기남*, 정홍배*,
광운대학교 전자재료공학과*

The study of phase-change according to temperature and voltage in chalcogenide thin film

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

Abstract

There is a growing need for a nonvolatile memory technology with faster speed than existing nonvolatile memories. We studied of phase-change according to temperature and voltage in chalcogenide thin film base on $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$. Searching for T_g (Glass transition temperature) temperature controlled on hotplate with RT quenching. We measure I-V characteristic through out bottom electrode(ITO) and top electrode(Al) between $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$. And compared with I-V characteristics after impress the variable stress.

Key Words : Phase-change, Nonvolatile, $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$

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 메모리와의 경쟁력을 갖는 부분은 쓰기/읽기 성능, 내구성, 저전력 소자, 프로세스의 간단화, 비용, 그리고 CMOS embeddability 을 들수있다. 쓰기/읽기 성능은 기존의 DRAM과 견줄만 하고 C-RAM의 공정은 기존의 CMOS 공정사이에 들어가 새로운 라인의 증설, 혹은 다른공정의 추가 없이 양산이 가능하다.[8]

광메모리(Optical memory)소자의 재료로 연구되고 있는[9] Te을 기반으로한 칼코게나이드 물질은 T_g (Glass transition temperature)에서 급냉과정에 의해 쉽게 비정질화가 된다. 이는 결정화가 쉽지 않다는 단점을 야기한다. 결정화가 되기 어렵다는 의미는 유리질이 안정하다는 의미가 아니라 결정화 속도가 매우 느리다는 것이다. 따라서 결정화 속도를 증가시켜 재기록 시간을 줄이려는 연구가 많이 진행되었다. 그 결과 빠른 결정화 특성을 갖는 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 의 삼원계 물질에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 의 비정질 칼코게나이드 물질을 온도, 전압에 의한 I-V 특성을 연구하였다.

2. 실험

2.1 Sample의 제작

본 연구에서 사용된 비정질 칼코게나이드 박막은 빠른 결정화 특성을 갖는 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 를 선택하였다. $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 벌크를 제작하여 Thermal evaporator를 이용하여 1000Å의 박막을 ITO기판 위에 제작하였다. 그리고 상부전극으로는 Al을 1000Å 증착하여 상하부 전극을 제작하였다.

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 임계전압 측정과 전압으로 heating을 하기 위한 실험을 하였다.

3. 결과 및 고찰

비정질 칼코게나이드의 상변화는 T_g 이상의 온도 가열 후 냉각속도에 따라 결정질과, 비정질이 되고 이는 전기적 저항의 차이를 가져온다.

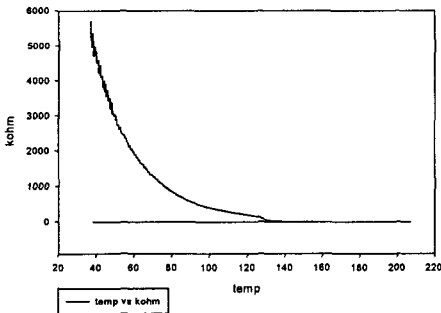


그림 1. 온도변화에 의한 저항변화 특성 그래프.
Fig. 1. Characteristic resistance graph according to variable temperature.

먼저 200°C까지 가열 후 200°C를 한 시간 유지하고 상온에서 냉각 하였을때 그림 1과 같이 큰 전기적 저항변화가 측정 되었다. 그림 1에서 가열하기전의 sample의 저항은 5.6MΩ이고 냉각 후 저항은 219Ω을 얻었다. on/off 특성을 위해서는 비정질과 결정질의 저항 비율이 100 이상이면 가능하기 때문에 저항변화가 크게 나타나는 효율적인 임계

온도를 찾기 위해 실험을 하였다. 그림 2와 같이 133°C까지 sample을 가열하고 상온에서 냉각 하였을때 상당한 저항변화를 얻었다. 가열하기전의 저항은 12MΩ이었고, 가열 후 상온에서 냉각 시 최종 저항은 2KΩ을 얻었다.

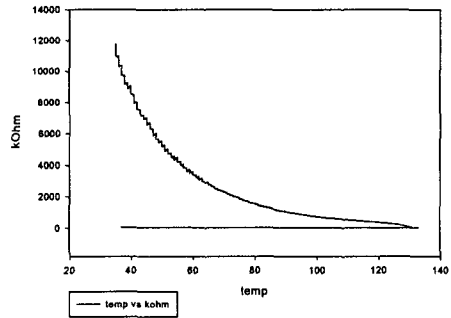


그림 2. 온도변화에 의한 저항변화 특성 그래프.
Fig. 2. Characteristic resistance graph according to variable temperature.

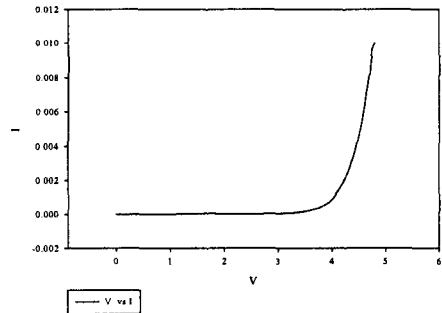


그림 3. 0V~10V sweep I-V특성.
Fig. 3. 0V~10V sweep I-V characteristic curve.

펄스를 인가하기 전 0V~10V까지 sweep을 하였다. sample의 보호를 위해 전류는 10mA로 제한하였다. 그림 3의 I-V 특성곡선에서 4V~5V사이의 임계전압을 얻었다. 그림 4는 임계전압보다 큰 5V의 전압으로 각각 다양한 duration을 가진 펄스를 인가 후 sweep을 하여 I-V curve를 얻었다. 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 curve의 변화를 가져온 것으로 사료된다. 그림 5는 좀더 높은 10V의 전압으로 각각의 duration 가진 펄스를 인가 후 sweep을 하여 I-V 특성을 측정하였다.

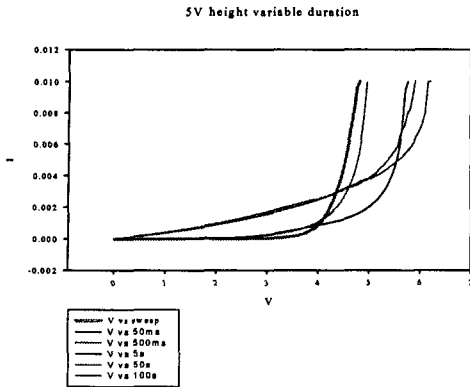


그림 4. 5V, 각각의 duration을 갖는 펄스인가 후 I-V 특성곡선.

Fig. 4. 0V~10V sweep after 5V height, variable duration.

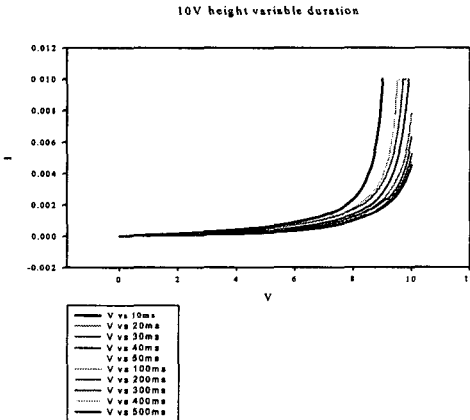


그림 5. 10V, 각각의 duration을 갖는 펄스인가 후 I-V 특성곡선.

Fig. 5. 0V~10V sweep after 10V height, variable duration.

그림 5 역시 duration이 길어질수록 임계전압이 증가하는 현상을 볼 수 있다. 그렇지만 펄스로 stress를 가하지 않은 상태에서 얻은 임계전압보다 더 높은 임계전압을 보여주고 있다.

그림 6은 heating으로 미리 결정화를 시킨 후 0V~10V sweep을 한 I-V curve와 5V 전압으로 20ms, 50ms duration으로 펄스를 인가후 I-V curve를 측정한 그래프이다. duration이 길어질수록 임계전압이 증가하는 현상을 볼 수 있다.

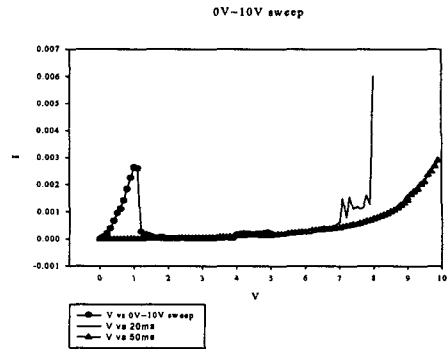


그림 6. 5V, 각각의 duration을 갖는 펄스인가 후 I-V 특성곡선.

Fig. 6. 0V~10V sweep after 5V height, variable duration.

4. 결론

비정질 칼코게나이드 박막의 온도와 전압에 따른 상변화에 관한 실험을 하였다. heating과 상온에서의 quenching으로 on/off 특성을 갖는 온도를 확인하고, 전압으로 stress를 인가한 후 저항 변화에 대한 실험을 하였다. duration이 큰 펄스를 인가할 수록 박막의 임계전압이 증가하는 현상을 알 수 있었다. 이는 전압으로 스트레스를 가해 비정질 칼코게나이드 박막의 상변화를 시킬 수 있다는 가능성을 보이고 있다. 반면 결정질로 변화하는 factor와 비정질과 결정질의 가역적인 변화를 야기시킬 수 있는 factor를 찾는 것이 추가적인 실험에서 진행해야 할 방향으로 사료된다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] R. Neale, D. Nelson, Gordon Moore, "Nonvolatile and reprogrammable, the read-mostly memory is here," Electronics, 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. Takao, "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 Czubytyj, "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] 이영종, "광기록을 위한 Te계 칼코게나이드 박막의 상전이 특성.",광운대학교대학원 전자재료공학과 pp2-4, June, 1990