

칼코게나이드 3원계 박막에서의 전기적 특성에 관한 연구

양성준, 신경, 이재민, 정홍배
광운대학교 전자재료공학과

Electrical characteristic of differential ternary chalcogenide thin films

Sung-Jun Yang, Kyung Shin, Jae-Min Lee, Hong-Bay Chung
Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University

Abstract

The phase transition between amorphous and crystalline states in chalcogenide semiconductor films can be controlled by electric pulses or pulsed laser beam; hence some chalcogenide semiconductor films can be applied to electrically write/erase nonvolatile memory devices, where the low conductive amorphous state and the high conductive crystalline state are assigned to binary states. GeSbTe(GST), AsSbTe(AST), SeSbTe(SST) used to phase change materials by applying electrical pulses. Thickness of ternary chalcogenide thin films have about 100nm. Upper and lower electrode were made of Al. It is compared with I-V characteristics after impress the variable pulses.

Key Words : GeSbTe, AsSbTe, SeSbTe, Chalcogenide, Phase change

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]

상변화 메모리(C-RAM)의 원리는 결정상(Crystalline phase)과 비정질 상(Amorphous phase)의 물리적인 특성 차이를 이용하여 정보를 저장하는 메모리를 말한다. 결정상과 비정질상의 광학적/전기적 특성 차이가 정보저장에 활용되어질 수 있다고 제안되어지고 있다. Rewritable CD와 DVD RAM의 경우와 같이 C-RAM에서도 결정상("1")과 비정질 상("0")의 형태로 재료의 상(phase)을 통해 저장되며, 저장된 정보는 결정상과 비정질상의 전기적 특성의 차이를 통해 디지털 신호로 인식된다. 지우기 동작(Reset)시에는 강한 파워의 전기적 펄스를 이용하여 재료의 국부적인 부분을 순간적으로 용융/급냉 시킴으로써 비정질상(Amorphous phase)을 유도하며, 쓰기동작(Set)시에는 전기적 펄스를 이용하여 결정화 온도 이상에

서 annealing을 행하여 재료의 결정화를 유도한다.[7]

본 논문에서는 GeSbTe, AsSbTe, SeSbTe의 삼원계 칼코게나이드 물질의 전기적 펄스를 가한 후의 I-V특성을 알아보았다.

2. 실험

본 연구에서는 Ge-Sb-Te, As-Sb-Te, Se-Sb-Te 삼원계 물질을 선택하였다. 증착소스인 Ge-Sb-Te, As-Sb-Te, Se-Sb-Te 벌크는 제작[8] 후 산화를 막기 위해 데시게이터에 보관하였다. 진공 열 증착기를 이용하여 박막을 제작하였다. 증착률은 0.3~0.4nm/s 그리고 박막의 두께는 100nm이다. 비록 증착된 박막과 벌크사이의 구성이 약간 다를지라도 증착된 박막은 증착원의 구성임을 나타낸다.

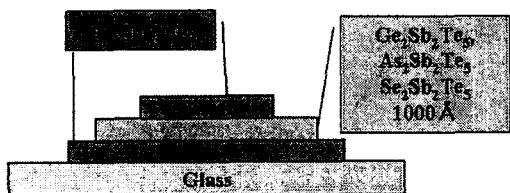


그림 1. 제작한 샘플의 모형도
Fig. 1. Schematic illustrate of fabricated sample

3. 결과 및 고찰

비정질 칼코게나이드의 상변화는 T_g 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 2, 3은 각각 $Ge_2Sb_2Te_5$, $As_2Sb_2Te_5$, $Se_2Sb_2Te_5$ 샘플의 온도변화에 따른 전도도 변화를 나타내고 있다. 온도상승률은 2.5 K/min이다.

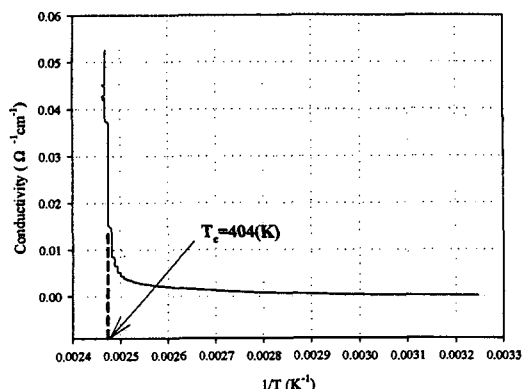


그림 2. $Ge_2Sb_2Te_5$ 박막의 온도에 따른 전도도
Fig. 2. Temperature dependence of conductivity of the $Ge_2Sb_2Te_5$

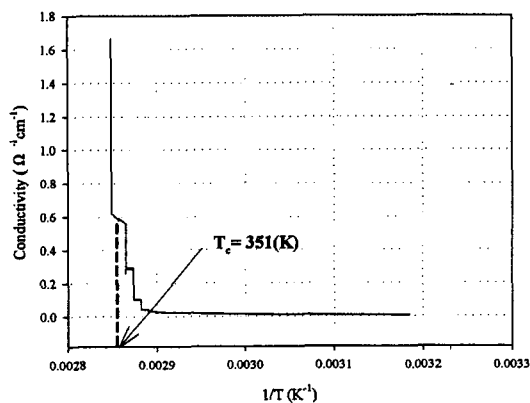


그림 3. $As_2Sb_2Te_5$ 박막의 온도에 따른 전도도
Fig. 3. Temperature dependence of conductivity of the $As_2Sb_2Te_5$

그림 2, 그림 3, 그림 4에서 보는 바와 같이 $Ge_2Sb_2Te_5$ 샘플과 $As_2Sb_2Te_5$ 샘플 그리고 $Se_2Sb_2Te_5$ 샘플의 결정화 온도(T_c)는 $\log\sigma$ 와 $1/T$ 의 그래프로 쉽게 결정된다. $Ge_2Sb_2Te_5$ 샘플의 결정화 온도보다 $As_2Sb_2Te_5$ 샘플의 결정화 온도가 낮은 것을 알 수 있다. 반면 $Se_2Sb_2Te_5$ 의 결정화 온도는 가장 높았다. 이런 결과는 결정질과 비정질상의 두 상의 변화를 일으키는데 더 작은 에너지로 상변화가 가능함을 예측할 수 있다.

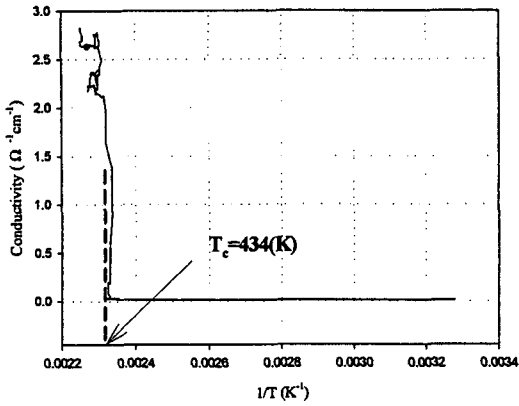


그림 4. $\text{Se}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 박막의 온도에 따른 전도도
 Fig. 4. Temperature dependence of conductivity of the $\text{Se}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$

변화를 일으킬 수 있었던 것으로 사료된다.

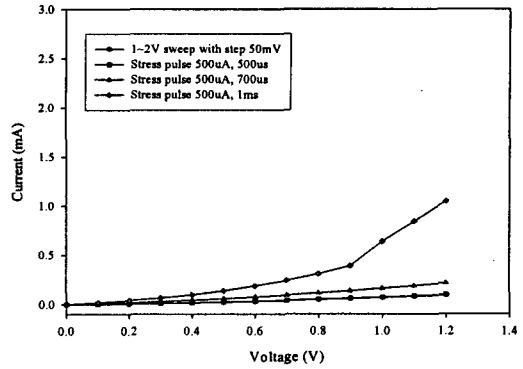


그림 6. $\text{As}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 샘플의 I-V 특성 곡선
 Fig. 6. I-V characteristic curve ($\text{As}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$)

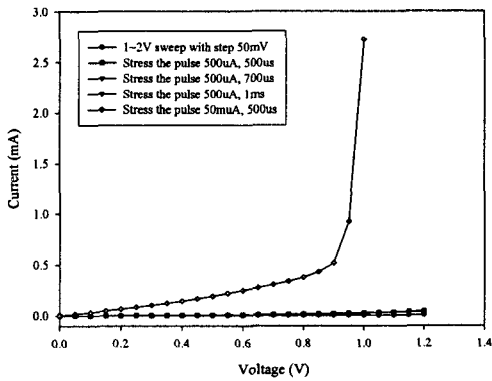


그림 5. $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 샘플의 I-V 특성 곡선
 Fig. 5. I-V characteristic curve ($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$)

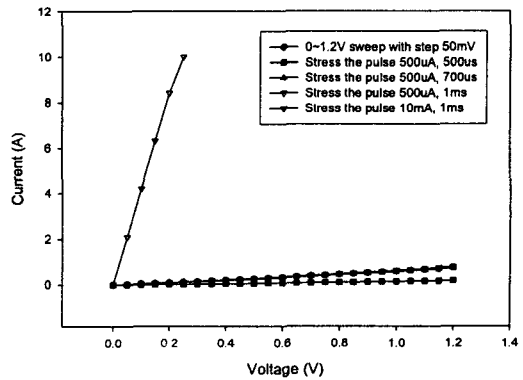


그림 7. $\text{Se}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 샘플의 I-V 특성 곡선
 Fig. 7. I-V characteristic curve ($\text{Se}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$)

그림 4, 그림 5는 샘플에 각각의 펄스를 인가 후 0~1.2V까지의 I-V 특성 그래프를 나타내고 있다. $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 샘플의 경우 50mA, 500us의 펄스를 인가했을 때 비정질에서 결정질로의 변화를 일으켰고, $\text{As}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 샘플의 경우 500uA, 1ms의 펄스를 인가했을 때, 비정질에서 결정질로의 변화를 일으켰다.

이는 그림 2, 3에서 알아본 결정화 온도의 차이로 인해, 전기적 펄스를 인가했을 때, $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 샘플보다 $\text{As}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 샘플이 더 낮은 전류펄스로 상

변화를 일으킬 수 있었던 것으로 사료된다. 반면 $\text{Se}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 샘플은 조금 다른 상변화를 보여주고 있다. 가장 높은 결정화 온도(T_c)의 결과로 보았을 때는 상변화에 필요한 에너지가 가장 클 것으로 예상하였으나, GeSbTe 계의 결정화에 필요한 에너지 보다 작은 에너지로 상변화가 가능하였다. 이는 SeSbTe 계의 칼코게나이드 박막은 열적 특성 보다는 전기적 특성에 민감한 것으로 사료된다. 그리고 상변화 후 샘플에 흐르는 전류 역시 상당히 큰 값을 나타내고 있다. 전기적 펄스가 가해

진 후 상변화 채널이 보다 넓은 영역에서 이루어진 것으로 사료된다.

4. 결론

칼코게나이드 물질을 이용한 상변화 메모리의 중요한 문제점은 쓰기/지우기 동작을 하기 위해서는 큰 전류가 필요하다는 것이다. 비정질에서 결정질로의 변화보다는 결정질에서 비정질로의 상변화에 필요한 에너지가 상대적으로 크다. 왜냐하면 결정질에서 비정질로의 상변화에 필요한 에너지는 물질의 녹는점 이상 가열되어야 하기 때문에 더 큰 에너지를 필요로 한다. 즉 결정화 온도(T_c)와 녹는점(T_m)이 낮은 물질을 사용하는 것이 위에 언급한 문제점을 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

본 논문에서는 비정질 칼코게나이드 박막을 이용하여 온도에 따른 전도도를 알아보고, 전기적 펄스에 따른 상변화에 대해 실험하였다. 결정화 온도는 샘플을 가열함으로써 얻을 수 있었고, 전기적 펄스를 인가하여 샘플의 I-V 특성을 실험하였다.

$Ge_2Sb_2Te_5$ 샘플의 경우 50mA, 500us의 펄스를 인가했을 때 비정질에서 결정질로의 변화를 일으켰고, $As_2Sb_2Te_5$ 샘플의 경우 500uA, 1ms의 펄스를 인가했을 때, 비정질에서 결정질로의 변화를 일으켰다. 반면 $Se_2Sb_2Te_5$ 샘플은 $GeSbTe$ 계의 결정화에 필요한 에너지 보다 작은 에너지로 상변화가 가능하였다. 이는 $SeSbTe$ 계의 칼코게나이드 박막은 열적 특성 보다는 전기적 특성에 민감한 것으로 사료된다. 그리고 전기적 펄스가 가해진 후 상변화 채널이 보다 넓은 영역에서 이루어진 것으로 사료된다.

상변화 메모리에 응용하기 위해서는 전기적 신호에 민감하게 반응하고, 또한 데이터 저장을 위해서는 결정화 온도가 너무 낮아서는 안된다. 즉 절절한 결정화 온도가 필요한 것이다. 차후 실험에서는 전기적으로 민감한 $SeSbTe$ 계의 조성과 두께에 따라서 전기적 특성을 분석 계획을 잡고 있다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2003-041-D20231)

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 $GeTe-Sb_2Te_3$ 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] Jong-Hwa Park Jung-Il Park, Eun-Su Kim, Hong-Bay Chung, "Holographic Grating Formation by Wet Etching of Amorphous $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ Thin Film", *Jpn. J. Appl. phys.* Vol. 41, p.4271. 2002.