

칼코게나이드 박막에서의 conductivity 변화에 관한 연구

양성준^{*}, 신경^{*}, 박정일^{*}, 정홍배^{*}

광운대학교 전자재료공학과^{*}

The study of conductivity transition on chalcogenide thin films

Sung-Jun Yang^{*}, Kyung Shin^{*}, Jung-Il Park^{*}, 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. T_c (crystallization temperature) is confirmed by measuring the conductivity with the varying temperature. The sample is heated on the hotplate and slow down to the room-temperature. We prepared Te based alloy bulk. The materials can be used for nonvolatile random access memory.

Key Words : Ge-Sb-Te, As-Sb-Te, phase change memory, Nonvolatile

1. 서론

빠른 동작속도, 고집적화, 저가의 제작비용등의 비휘발성 메모리는 컴퓨터와 다양한 멀티미디어 시스템 등에서 필요로 하고 있다.[1]

대표적인 비휘발성 메모리로는 플래시 (electrically erasable programmable ROM: EEPROM). 메모리가 있다. 플래시 메모리의 결점은 많은 소비전력과 느린 프로그래밍 시간이다.

저가의 제작비용과 전기적 쓰기/지우기의 특성을 갖는 다양한 칼코게나이드 반도체에 관한 연구는 1970년대에 활발히 진행되었다. 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].

Chalcogenide RAM(이하 C-RAM)은 비휘발성 메모리로 비정질 칼코게나이드 물질을 기반으로 하여 비정질과 결정질 상태의 가역적 상변화를 이

용한 비휘발성 메모리이다. 이런 상변화는 소자의 체적을 전기적인 펄스로 가열하고 냉각시키면서 상대적인 저항변화를 얻을 수 있다.[5]

C-RAM이 기타 다른 메모리와 경쟁력을 갖는 부분은 쓰기/읽기 성능, 내구성, 저전력 소자, 프로세스의 간단화, 비용, 그리고 CMOS embeddability 을 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.[6]

Ge-Te을 기본으로 하고 소량의 Sb를 첨가한 삼원계 시스템은 낮은 공용온도로 반복되는 상변화에도 안정한 상태를 보여준다. 그러나 이러한 효율은 만족스러운 것은 아니었다. 예를 들어 쓰기/지우기 과정은 많은 반복성을 필요로 하는데, Ge-Te 시스템은 일정회수 이상의 쓰기/지우기 과정 후에는 더 이상 동작하지 않았다.[1]

본 논문에서는 Te을 기본으로 한 삼원계 물질의 온도에 따른 conductivity를 실험하였다.

2. 실험

본 연구에서는 As-Sb-Te, Ge-Sb-Te 삼원계 물질을 선택하였다. $As_{20}Sb_{20}Te_{60}$, $Ge_2Sb_2Te_5$ 벌크를 제작하였다.[7] Thermal evaporator를 이용하여 1000 Å의 박막을 glass substrate에 증착하였다. 그림 1은 실험에 쓰인 박막의 모형도이다.

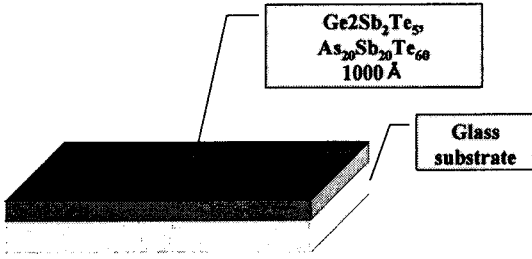


그림 1. 제작한 샘플의 모형도

Fig. 1. Schematic illustrate of fabricated sample

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.

3. 결과 및 고찰

$Ge_2Sb_2Te_5$ 을 증착한 박막을 이용하여 실험을 진행하였다.

그림 2는 상온에서 200°C 가열 후 200°C에서 한 시간 유지, 그리고 다시 상온으로 냉각시킨 저항변화 곡선을 보여주고 있다. 그림 2는 가열 후 상당한 저항변화를 보여주고 있다. 가열하기 전 샘플의 저항은 5.6MΩ이고 냉각 후 저항은 219Ω을 얻었다.

On/off 특성을 위해서는 비정질/결정질 저항 비율이 100 이상이면 가능하기 때문에 저항변화가 크게 나타나는 효율적인 임계온도를 찾기 위해 실험을 하였다.

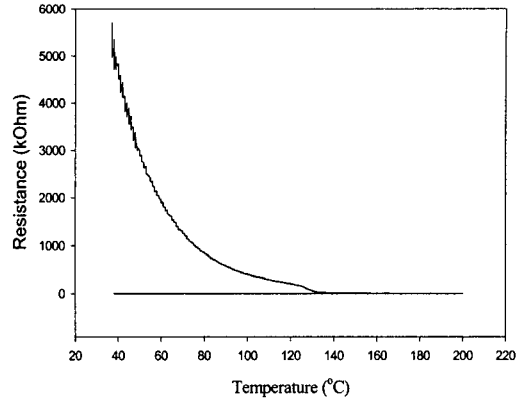


그림 2. 온도에 따른 저항변화 그래프

Fig. 2. Resistance change curve with temperature

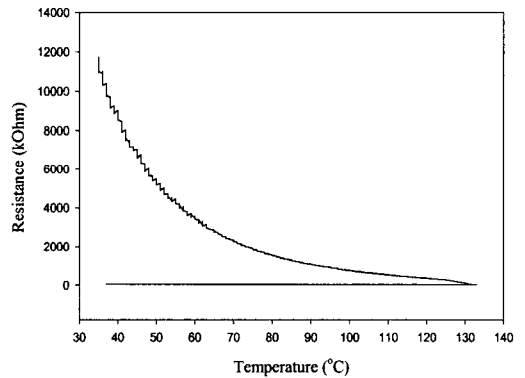


그림 3. 온도에 따른 저항변화 그래프

Fig. 3. Resistance change curve with temperature

그림 3은 133°C까지 샘플을 가열하고 상온으로 냉각 하였을 때 상당한 저항변화를 얻었다. 가열하기전의 저항은 12MΩ이었고, 가열 후 상온에서 냉각 시 최종 저항은 2KΩ을 얻었다. 그림 2, 3은 비정질에서 결정질로의 상변화의 결과를 보여주고 있다.

그림 4는 127°C까지 샘플을 가열하고 상온으로 냉각 하였을 때의 저항변화를 보여준다. 위의 결과와는 다르게 상온으로 냉각시 저항이 다시 증가하는 현상을 보여주고 있다. 즉 가열온도가 T_c 에 도달하지 않았기 때문에 상온으로 냉각시 다시 비정질로 되돌아 온 것으로 사료된다.

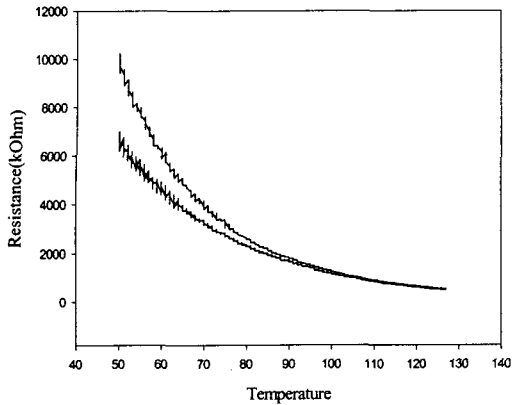


그림 4. 온도에 따른 저항변화 그래프
Fig. 4. Resistance change curve with temperature

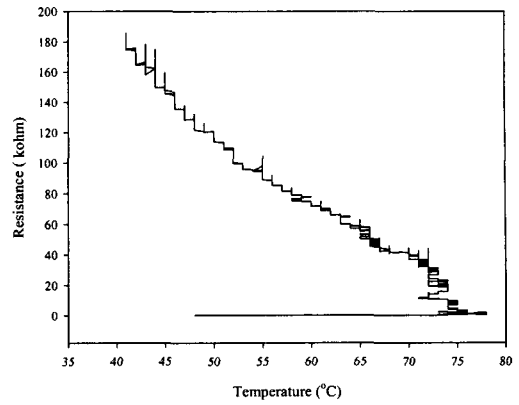


그림 6. 온도에 따른 저항변화 그래프
Fig. 6. Resistance change curve with temperature

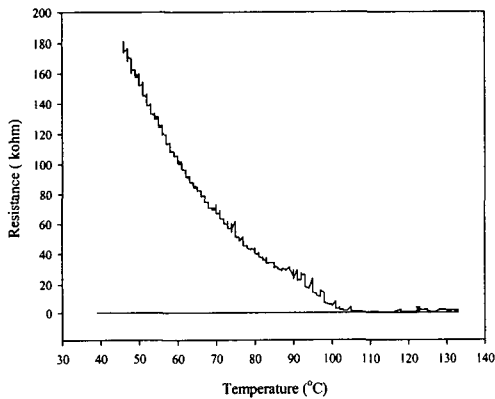


그림 5. 온도에 따른 저항변화 그래프
Fig. 5. Resistance change curve with temperature

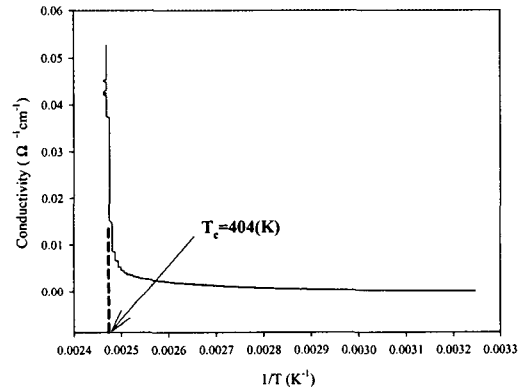


그림 7. Ge-Sb-Te박막의 온도에 따른 전도도
Fig. 7. Temperature dependence of conductivity of the Ge-Sb-Te

그림 5는 $As_{20}Sb_{20}Te_{60}$ 을 증착한 박막을 이용하여 $133^{\circ}C$ 까지 가열 후 상온으로 냉각시켜 얻은 저항변화 그래프이다. 가열하기 전 샘플의 저항은 $200K\Omega$ 이었고 냉각 후 저항은 183Ω 을 얻었다.

그림 6은 효율적인 결정화 온도를 찾기 위해 실험을 하였다. $78^{\circ}C$ 까지 가열 후 상온으로 냉각시켜 얻은 저항변화 그래프이다. 가열하기 전 샘플의 저항은 $184K\Omega$ 이었고 냉각 후 저항은 300Ω 을 얻었다. 그림 3과 같은 실험이었지만 그 결과는 Ge-Sb-Te계의 박막보다 낮은 결정화 온도를 보여준다. 이는 칼코게나이드를 기본으로 한 상변화 메모리에 저전력 소자로서의 응용을 나타내는 것으로 사료된다.

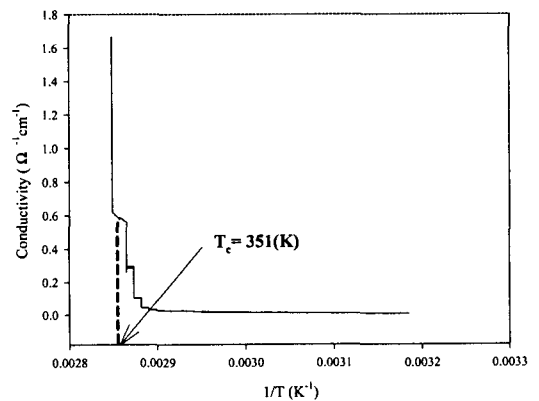


그림 8. As-Sb-Te박막의 온도에 따른 전도도
 Fig. 8. Temperature dependence of conductivity of the As-Sb-Te

그림 7과 그림 8은 각각 전도도와 $1/T$ 와의 관계에서 Ge-Sb-Te박막과 As-Sb-Te 박막의 결정화 온도를 보여주고 있다. 실험에서 쓰인 Ge-Sb-Te 박막의 결정화 온도는 404K로 약 131°C이고, As-Sb-Te 박막의 결정화온도 351K로 약 78°C임을 알 수 있었다. Te계를 기본으로 한 삼원계중 As이 첨가된 물질은 As이 박막 내부에서 T_g 를 낮추어주는 역할을 하는 것으로 사료된다. 즉 As 첨가량을 조절하므로 결정화 온도에 변화를 줄 수 있다는 것이다. 이런 결정화 온도의 차이는 적은 열 에너지로 상변화가 가능하고, 이는 전기적 에너지로 열을 가할 경우 전력의 소모를 줄일 수 있다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 As이 첨가된 Te계의 물질은 C-RAM에 있어서 저전력 소자로서의 응용 가능성을 보여준다.

4. 결 론

비정질 칼코게나이드 박막의 온도에 따른 전도도의 변화, 그리고 결정화 온도를 확인하는 실험을 하였다. Ge-Sb-Te박막과 As-Sb-Te박막을 heating과 상온에서의 냉각으로 결정화 온도(T_c)를 확인하였다. 결정화 온도는 상변화 메모리에서 비정질에서 결정으로 변화하는 과정에서 중요한 역할을 하게 된다. 본 논문에서는 열을 가해 상변화를 알아보았지만 실제적인 응용에서는 전기적인 펄스로 열을 대체하게 될 것이다. 그러므로 낮은 결정화 온도를 갖는 것은 저전력 소자로서의 응용가능성을 보이는 것으로 사료된다.

차후 실험에서는 본 논문에서의 결정화 온도에 따른 상변화를 다양한 칼코게나이드 박막에서의 전기적 펄드에 의한 상변화를 연구해야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] 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.
- [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] 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.
- [6] Stefan Lai, Tyler Lowrey, "OUM - A 180nb Nonvolatile Memory Cell Element Technology For Stand Alone and Embedded Applications.", Intel Corporation, RN3-01.
- [7] 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.