

Se₁Sb₂Te₂ 칼코게나이드 박막의 두께에 따른 상변화 특성 연구

이재민, 양성준, 신 경, 정홍배, 김영해*

광운대학교 전자재료공학과, 인덕대학교 전자과*

The Study on Characteristic of Phase Transition in differential Chalcogenide Thin Films

Jae-Min Lee, Sung-Jun Yang, Kyung Shin, Hong-Bay Chung, Young-Hae Kim*

Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University,

Department of Electronic Engineering Induk College*

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.

This letters researched into the characteristic of phase change transition in differential Chalcogenide thin films materials.

The electrode used Al and experimented on 100nm, 300nm, 500nm respectively.

Key Words : Phase Transition, Amorphous, Chalcogenide, Se₁Sb₂Te₂

1. 서 론

다양한 멀티미디어 기기의 발전과 함께 빠른 동작속도, 고집적화, 저가의 제작비용 등의 비 휘발성 메모리 시스템이 요구되고 있다.[1]

이러한 요구에 부합하는 비 휘발성 메모리로는 플래시 메모리가 가장 보편화 되어 무선기기 및 디지털 저장매체에 많이 이용되고 있다. 하지만 플래시 메모리는 많은 소비전력과 느린 프로그래밍 시간 등의 단점이 있으며, 차후 나노 스케일 집적시 선풍의 제작에도 어려움이 예상된다. 따라서 새로운 차세대 메모리의 개발이 요구되고 있으며, 현재 전 세계에 걸쳐서 그 연구가 진행 중에 있다. 이러한 차세대 메모리 중 주목을 받고 있는 것이

칼코게나이드를 이용한 상변화 메모리이다.

1970년대부터 광학적, 전기적 특성을 이용한 비 휘발성 메모리로서 연구가 활발히 진행되어 왔다. 비 휘발성 메모리 소자로서 비정질 반도체는 문턱 전압 및 메모리 스위칭을 포함한 전기적, 광학적, 열적 성질 때문에 많은 주목과 매력을 끌기 충분했다.[2-4]

특히 Sb와 같은 소량의 제 3의 원소를 함유한 Ge-Te 시스템이 집중적으로 연구되어 왔다.[6-8]

그러나 그 수행실적은 상업적으로 이용되기에는 그 결과가 만족스럽지 못했다.

예를 들어, 높은 전압 (10-20V), 큰 전류 (25-100mA) 그리고 넓은 펄스 (>1ms)는 결정질과 비정질의 상변화를 일으키는데 필수적이기 때문이

었다.

이러한 비정질 칼코게나이드 반도체의 박막 경계면의 전기적 특성과 비정질 반도체의 On-Off 상태의 전이특성[9]에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔고, 그 후 상변화 기술은 광학적 특성에 기반을 둔 CD와 DVD의 광디스크 저장매체의 발전으로 이루어져 왔다. 또한 최근에 들어서는 전기적 특성을 이용한 상변화 메모리가 주목을 받고 있다.

칼코게나이드 물질을 이용한 Chalcogenide RAM(이하 C-RAM)은 비 휘발성 메모리로서 비정질과 결정질 상태의 가역적 상변화를 이용한 비 휘발성 메모리이다. 이런 상변화는 소자의 체적에 전기적인 펄스를 인가하여, 인가 시 비정질과 결정질의 상대적인 저항 차이[10] 용하여 반도체 소자로서 이용된다.

본 논문에서는 이러한 칼코게나이드 물질을 이용한 상변화 메모리 중 $Se_1Sb_2Te_2$ 의 삼원계 물질을 이용하여 두께에 따른 결정화 온도(T_c) 및 전기적 특성에 대하여 알아보고자 한다.

2. 실험

본 논문에서는 $Se_1Sb_2Te_2$ 삼원계 물질을 선택하였다. 조성은 $Se_1Sb_2Te_2$ 이며 그 조성비는 참고문헌 [11] 내용 중 온도 및 전기적 특성이 우수한 $Se_1Sb_2Te_2$ 을 기초로 하였다.

증착소스인 $Se_1Sb_2Te_2$ 을 벌크로 제작 후 산화를 막기 위해 진공 봉입한 데시게이터에 보관하였으며, 진공 열 증착을 이용하여 박막을 제작하였다. 증착률은 0.3-0.4nm/s 그리고 박막의 두께는 100nm, 300nm, 500nm로 나누어 제작하였다.

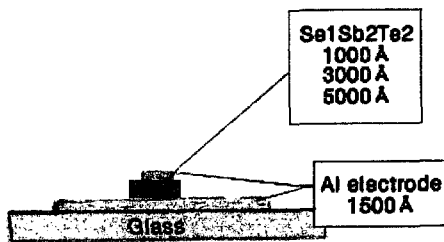


그림 1. 제작한 샘플 구조도

Fig. 1. Schematic illustrate of fabricated sample

비록 원래의 벌크와 증착 시 박막의 구조적 특성이 약간 다를지라도 증착된 박막은 증착원의 구성임을 나타낸다. 상하부 전극은 Al을 이용하였으며, 실험 소자의 구성은 칼코게나이드 상하부에 Al 전극을 연결한 샌드위치 구조로 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

비정질 칼코게나이드의 상변화는 T_g 이상의 온도 가열 후 냉각속도에 따라 결정질과 비정질로 그 상이 변화된다. 이때 각 상에 따라 전기적 저항의 차이가 매우 크게 차이가 나타나게 된다. 비정질 박막에 열적 에너지를 인가하여 충분한 에너지가 전달되면 칼코게나이드는 그 상이 비정질에서 결정질로 변하게 된다.

이때의 온도를 T_c (Crystallization Temperature)라 하며 온도 상승에 따른 저항 변화를 측정하여 T_c 를 확인하였다.

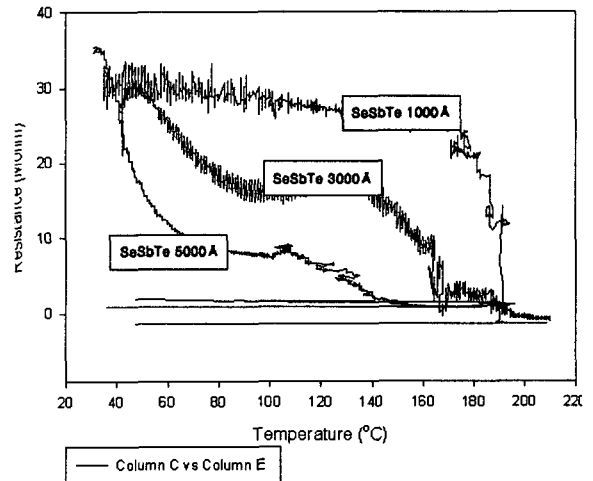


그림 2. 두께별 온도에 따른 저항 변화 곡선

Fig. 2. Temperature Curve Dependence of Resistance in Differential Thickness

그림2는 $Se_1Sb_2Te_2$ 의 두께별 온도에 따른 저항 변화를 나타내고 있다. 온도 상승률은 2.5K/min이다. 그림에서 보는 바와 같이 각 두께별로 온도 상승에 따라서 저항 값의 저하를 확인할 수 있었다. 각 두께별로 측정된 결과 1000Å, 3000Å, 5000Å에서 초기 저항은 각각 15MΩ, 22MΩ, 35.59MΩ

이었으며, 결정화 이후 저항 값은 각각 15K Ω , 350K Ω , 776K Ω 으로 변화된 것을 확인할 수 있었으며, 결정화 온도는 각각 175 $^{\circ}$ C, 184 $^{\circ}$ C, 187 $^{\circ}$ C으로 나타났다

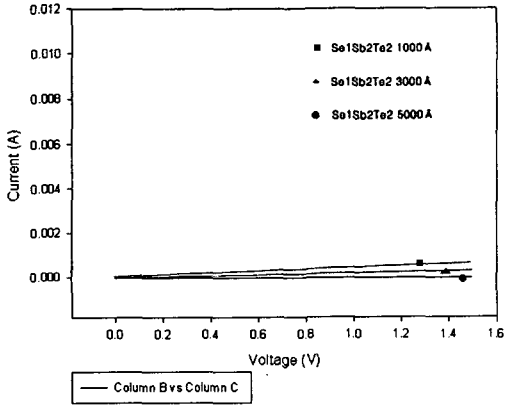


그림 3. $\text{Se}_1\text{Sb}_2\text{Te}_2$ 의 상변화 이전 I-V 특성곡선
Fig. 3. Before I-V Characteristic Curve of Phase Change ($\text{Se}_1\text{Sb}_2\text{Te}_2$)

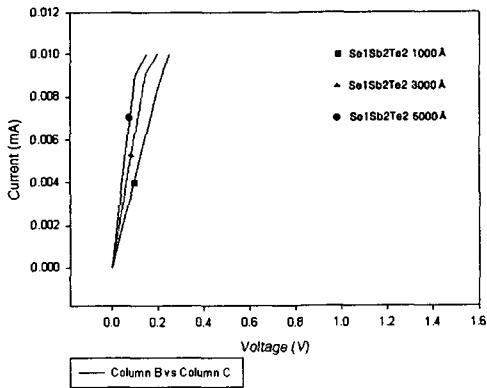


그림 4. $\text{Se}_1\text{Sb}_2\text{Te}_2$ 의 상변화 I-V 특성곡선
Fig. 4. I-V Characteristic Curve of Phase Change ($\text{Se}_1\text{Sb}_2\text{Te}_2$)

그림 3과 4는 샘플에 전기적 펄스를 인가한 후 0-1.5V까지의 I-V 특성을 그래프로 나타내고 있다.

그림 3은 상변화 이전의 I-V 특성으로 전기적 펄스를 인가하여도 전류가 흐르지 않음을 볼 수 있

다. 그림 4는 상변화 이후의 I-V 특성으로 상이 변화하여 결정질의 I-V 특성을 나타내고 있다.

각 두께별로 상변화가 이루어진 측정치는 1000 \AA 의 경우 10mA, 1ms, 3000 \AA 의 경우 40mA, 3ms, 5000 \AA 의 경우 80mA, 10ms로 나타났다.

이는 그림 2에서 알아본 결정화 온도의 차이로 인해, 전기적 펄스를 인가하였을 때 두께가 두꺼운 박막에 더 많은 에너지를 인가해야 상변화가 일어날 수 있었던 것으로 사료된다.

4. 결론

칼코게나이드 물질을 이용한 상변화 메모리의 문제점은 쓰기/지우기 동작 시 큰 전류가 소모된다는 것이다. 더 나아가 비정질에서 결정질로 상변화보다 결정질에서 비정질로의 변화 시 에너지가 상대적으로 더 많이 소모된다. 그 이유는 결정질에서 비정질로의 상변화에 필요한 에너지는 물질의 녹는 이상 가열되어야 하기 때문에 더 큰 에너지를 필요로 하기 때문이다. 즉 결정화 온도(T_c)와 녹는 점(T_m)이 낮은 물질을 사용하는 것이 위에 언급한 문제점을 해결 할 수 있을 것으로 사료된다.

본 논문에서는 비정질 칼코게나이드 박막을 이용하여 두께별 온도에 따른 저항 변화 특성과 전기적 특성을 실험을 통해 알아보았다.

결정화 온도는 샘플에 열적에너지를 인가하여 저항의 변화를 통해 얻을 수 있었으며, 전기적 펄스를 인가하여 I-V 특성을 실험하였다.

실험결과 $\text{Se}_1\text{Sb}_2\text{Te}_2$ 의 두께별 온도에 따른 저항 변화 결과 두께가 얇은 1000 \AA 의 샘플이 결정화 온도 T_c 가 175 $^{\circ}$ C로 가장 낮았으며, 전기적 펄스를 인가한 I-V 특성 결과 역시 1000 \AA 의 샘플이 10mA, 1ms로 가장 적은 전류 펄스에서 상변화를 보였다.

이러한 결과로 미루어 저 전력 상변화 메모리를 제작하기 위해서는 결정화 온도 및 전기적 특성을 고려해야 하며, 두께에 따른 요소 역시 고려해야 할 것으로 사료된다. 두께가 두꺼운 만큼 많은 열적, 전기적 에너지를 소모하기 때문에 그만큼 소자로서의 가치는 떨어지기 때문에 박막의 두께 요소 역시 중요한 요소로서 다루어져야 할 것이다.

마지막으로 박막의 두께가 너무 얇을 경우 비정질 상태에서의 저항이 낮거나, 결정화 온도가 낮아

서 상변화 메모리의 특성을 이용할 수 없는 경우도 예상되므로 차후 칼코게나이드 메모리를 제작 시 적절한 두께를 고려해야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2003-041-D20231)

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, pp6157-6161, 2000. mechanical properties of ceramics, J. Master. Sci., Vol. 15, No. 1, p. 10, 2001.
- [2] G. Bouwhuis, J. Brant, A. Huijser, J. Pasman, G. van Rosemalen, and K. Schouhamer Immink, Principles of Optical Disc systems (Hilger, Bristol, 1985).
- [3] A. Huijser, B. Jacob, L. Vriens, J. Markvoort, A. Spruijt, and P. Vromas, SPIE Proc. 382, 270 (1983)
- [4] L. Vriens and W. Rippens, Appl. Pot. 22, 1405 (1983)
- [5] M. H. cohen, R.G. Neale and A. paskin: J. Non-Crystal Solids 8-10 (1972) 885.
- [6] C.H. Sie, M. P. Dugan and S. C. Moss : J. Non-Crystal Solids 9-10 (1972) 877.
- [7] G. V. Button and R. M. Quilliam : IEEE Trans. Electron Devices ED-20 (1973) 140.
- [8] J. R. Bonnell and C. B. Thomas : Philos. Mag. 27 (1973) 665.
- [9] Hong-Bay Chung, Chang-Yub Park, Electrical Characteristics of the Thin Film Interface of Amorphous Chalcogenide Semiconductor," Kwangwoon Univ, Mar, 1980.
- [10] Stefan Tyson, Steve Hudgens, Boil Pashmakov, Wally Czubyti, "Total Dose Radiation Response and High Temperature Imprint Characteristics of Chalcogenide Based RAM Resistor Element." IEEE vol. 47, No. 6, December 2000.
- [11] D. P. Gosain, T. Shimizu, M. Ohmura, M. Suzuki, T. Bandou and S. Okano: J. Master. sci. 26 (1991) 3271