

상변화 메모리 응용을 위한 $Ge_1Se_1Te_2$ 비정질 칼코게나이드 박막의 전도 특성

최혁, 김현구, 조원주, 정홍배
 광운대학교 전자재료공학과

Conductivity Characteristics of $Ge_1Se_1Te_2$ Amorphous Chalcogenide Thin Film for the Phase-Change Memory Application

Hyuk Choi, Hyun-Gu- Kim, Won-Ju Cho, Hong-Bay Chung
 Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University

Abstract - As next generation nonvolatile memory, chalcogenide-based phase change memory can substitute for a conventional flash memory from its high performance. Also, fast writing speed, low writing voltage, high sensing margin, low power consumption and repetition reliability over 10^{15} cycle shows its possibility. At our laboratory, we invented $Ge_1Se_1Te_2$ material to alternate with conventional $Ge_2Sb_2Te_5$ for improve its ability. We respect the $Ge_1Se_1Te_2$ material can be a solution for high power consumption problem and long time at 'set' performance.

A conductivity experiment from variable temperature was performed to see reliability of repetition at read and write performance. Compare with conventional $Ge_2Sb_2Te_5$ material, these two materials are used as complex compound to get the finest parameter.

1. 서 론

1960년대 말부터 여러 가지 비정질 칼코게나이드계 물질에서의 메모리 스위칭 현상이 보고된 이래 지속적인 연구가 진행되어 오고 있다. [1-4] 비정질 칼코게나이드계 물질에서 나타나는 스위칭 현상은 비휘발성 메모리 소자로서 그 응용가치가 크며, 광기억소자나 컴퓨터 메모리 어레이 등으로 이용할 수 있다. 또한 급속한 멀티미디어 기기의 발전과 함께 빠른 동작속도, 고집적화, 저가의 제작비용 등의 장점을 나타내는 비휘발성 메모리 시스템이 요구되고 있는 가운데 이러한 요구 사항을 만족하는 차세대 메모리로서의 비정질 메모리의 이용 가능성이 대두 되고 있다.[5]

최근 플래시 메모리가 비휘발성 메모리로서 가장 많이 사용되고 있지만 플래시 메모리는 많은 소비전력과 느린 프로그래밍 시간 등의 단점이 있으며, 차후 나노 스케일 집적 시 선평의 제작에도 어려움이 따르고 있다. 따라서 새로운 차세대 메모리의 개발이 요구되고 있으며, 현재 전 세계에 걸쳐서 그 연구가 진행 중에 있다.

1970년대부터 광학적, 전기적 특성을 이용한 비휘발성 메모리로서 연구가 활발히 진행되어 왔다. 비휘발성 메모리 소자로서 비정질 반도체는 문턱전압 및 메모리 스위칭을 포함한 전기적, 광학적, 열적 성질 때문에 많은 주목과 매력력을 끌기 충분했다.[6-8]

특히 Sb와 같은 소량의 제 3의 원소를 함유한 Ge-Te 시스템이 집중적으로 연구되어 왔다.[10-12] 또한 최근에 들어서는 전기적 특성을 이용한 상변화 메모리가 상업적으로 이용되기 위한 새로운 연구 결과들이 나와 주목을 받고 있다. 칼코게나이드 물질을 이용한 Phase change RAM(이하 PRAM)은 비휘발성 메모리로서 비정질과 결정질 상태의 기억적 상변화를 이용한 비휘발성 메모리이다. 이런 상변화는 소자의 체적에 전기적인 필스를 인가하여, 인가 시 비정질과 결정질의 상대적인 저항 차이[13] 용하여 반도체 소자로서 이용된다.

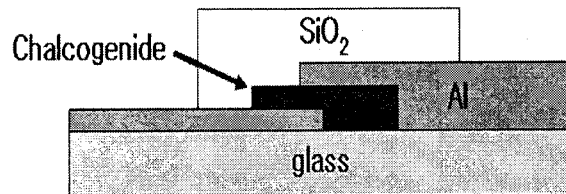
본 논문에서는 본 연구실에서 개발한 $Ge_1Se_1Te_2$ 물질의 전기적 전도도를 측정하여 기존의 상변화 물질인 $Ge_2Sb_2Te_5$ 물질과 복합적인 구조 형성 시 최적의 파라미터를 연구자 한다.

2. 본 론

2.1 실험

본 논문에서는 $Ge_1Se_1Te_2$ 삼원계 물질을 선택하였으며, 그 물리적 특성 및 전기적 특성은 참고문헌[14]의 내용 기초로 하였다. 소자의 구조는 그림 1과 같이 Al 전극 사이에 칼코게나이드 물질을 삽입한 구조를 사용하였다. 칼코게나이드 물질은 $Ge_1Se_1Te_2$, $Ge_2Sb_2Te_5$ 단일 박막과 $Ge_1Se_1Te_2$ 와 $Ge_2Sb_2Te_5$ 물질을 적층한 이중층과 $Ge_1Se_1Te_2$ 물질 사이에 $Ge_2Sb_2Te_5$ 물질을 삽입한 삼중층으로 하였다. 하부 전극은 1000Å으로 하였고, Chalcogenide층은 각 물질 및 구조에 따라 2000Å으로 하였다. 그 위에 상부전극을 3000Å 증착하였다.

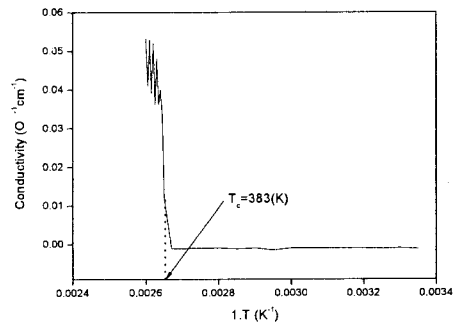
다. 각 구조의 상부 전극 위에 SiO_2 층 3000Å을 증착함으로써 열에 의한 물질의 휘발을 방지하였다. 측정은 hot-plate를 이용하여 300°C 까지 가열하면서 저항을 측정하여 온도와 저항의 관계로 전도도를 도출하였다.



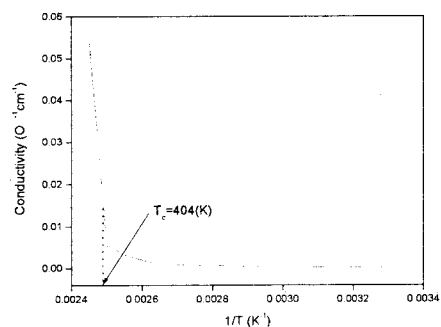
<그림 1> 제작한 샘플 구조도

2.2 결과 및 고찰

그림 2와 3은 $Ge_1Se_1Te_2$ 와 $Ge_2Sb_2Te_5$ 물질의 단일층 구조의 온도에 대한 전도도 특성을 나타낸 그래프이다.



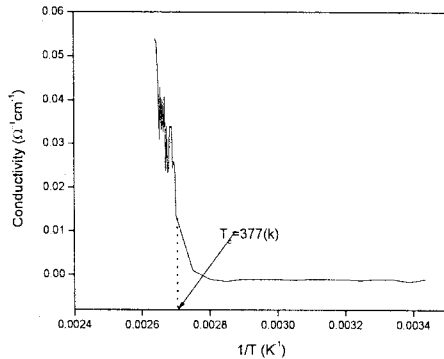
<그림 2> $Ge_1Se_1Te_2$ 박막의 전도도 온도 의존성



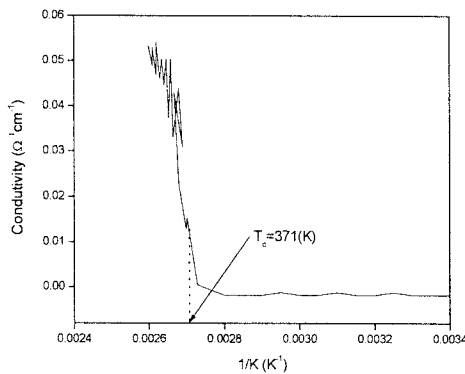
<그림 3> $Ge_2Sb_2Te_5$ 박막의 전도도 온도 의존성

그림 2와 3에서 보는 바와 같이 전도도가 급격히 상승하는 지점에서 결정화 온도를 결정할 수 있다. 그림 2의 $\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2$ 물질에서 결정화 온도는 383K로 결정된다. 그리고 그림 3의 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 물질에서는 404K의 결정화 온도를 나타내고 있다. 이 두 그래프에서 주목할 점은 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 물질에서 보다 $\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2$ 물질에서 결정화 온도가 더 낮다는 점이다. 결정화 온도가 더 낮은 것은 상변화시 소비되는 에너지가 더 적은 것을 의미하므로 소비 전력의 감소를 얻어낼 수 있다.

그림 4와 5는 $\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2$ 와 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 두 물질을 이중층과 삼중층 구조로 만들었을 때의 온도에 따른 전도도 특성을 나타낸 것이다.



〈그림 4〉 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5/\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2$ 이중층 박막의 전도도 온도 의존성



〈그림 5〉 $\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2/\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5/\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2$ 삼중층 박막의 전도도 온도 의존성

그림 4의 이중층 구조는 $\text{Al}/(\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5/\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2)/\text{Al}$ 구조로 제작 하였다. 그림 4의 그래프에서 알 수 있듯이 단일층 구조에서보다 T_c 가 낮게 나온 것을 확인할 수 있다. 이것은 그림 2와 3에서 보았듯이 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 물질이 $\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2$ 물질보다 열전도도가 낮은 것을 알 수 있다. 전도도가 낮은 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 층을 하부 전극위에 위치시킴으로써 결정화시 $\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2$ 층에 더 많은 열을 유도함으로써 더 낮은 온도에서 결정화 시킬 수 있었다.

그림 5의 삼중층 구조 또는 insert structure는 $\text{Al}/(\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2/\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5/\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2)/\text{Al}$ 구조로 제작 하였다. 그림 5의 그래프에서 알 수 있듯이 단일층, 이중층 구조에서 보다 더 낮은 T_c 를 얻을 수 있었다. 이것은 전도도가 상대적으로 낮은 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 물질을 $\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2$ 물질에 삽입하여 참고 문헌 [15]와 같이 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 물질을 발열층으로 사용함으로써 더 낮은 T_c 를 얻을 수 있었다. 이와 같은 구조를 사용함으로써 결정화 또는 비정질화 시 소비 되는 소비전력을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

3. 결 론

캠코계나이드 물질을 이용한 상변화 메모리의 문제점은 쓰기/지우기 동작 시 큰 에너지가 소모된다는 것이다. 따라서 이러한 에너지 소비를 줄이고 효율적인 박막을 제조하기 위해서는 물질 자체의 개선과 가역적인 변화에 필요한 조건들을 찾아서 제어할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 비정질 캠코계나이드 박막을 제작, 이용하여 온도 및 전도도 특성에 따라 저항 변화에 어떠한 영향을 미치는지 실험해 보았다. 실험 결과 단일층으로 형성시 $\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2$ 물질과 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 물질을 단일층으로 형성시 $\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2$ 물질에서 더 좋은 전도도 특성과 더 낮은 T_c 를 얻을 수 있었다. 또한 이중층과 3중층으로 구조적 변화를 주어 실험한 결과 $\text{Ge}_1\text{Se}_1\text{Te}_2$ 물질보다 전도도가 낮은 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 물질의 효과로 단일층 보다는 이중층에서 좀 더 좋은 결과를 얻을 수 있었고, 최종적으로 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 물질을 insert-layer로 쓴 삼중층 구조에서 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

본 실험의 결과로 미루어 보아, 각 물질의 단일층 보다는 두 물질이 상호 보완적으로 작용할 수 있는 이중층, 삼중층 구조가 저전력 및 효율적인 상변화 메모리로서 이용 가능성이 있을 것으로 사료 된다.

감사의 글

This research was supported by the MC(Ministry of Information and Communication), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program supervised by the HTA(Institute of Information Technology Assessment)(HTA-2005-C1090-0502-0038)

[참 고 문 헌]

- [1] A. Madan and M. P. Shaw, "The physics and Applications of Amorphous Semiconductors", Academic Press, p.382-408, 1988
- [2] Mott and Davis, "Electronic processes in Non-crystalline Materials", Oxford University Press, p.507-512, 1979
- [3] T. Matsushita, T. Yamagami, and M. Okuda, "Switching Phenomena Observed on Ge-Se-In System", Japan. J. Appl. Phys., Vol.11, pp.422, 1972
- [4] A. Hamada, M. Saito, and M. Kikuchi, "Energy Gap Discrepancy in Amorphous Semiconductors of As-Te-Ge System", Japan. J. Phys., Vol.1., pp530, 1971
- [5] 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.
- [6] G. Bouwhuis, J. Brant, A. Huijser, J. Pasman, G. van Rosemaien, and K. Schouhamer Immink, Principles of Optical Disc systems (Hilger, Bristol, 1985).
- [7] A. Huijser, B. Jacob, L. Vriens, J. Markvoort, A. Spruijt, and P. Vromas, SPIE Proc. 382, 270 (1983)
- [8] L. Vriens and W. Rippens, Appl. Pot. 22, 1405 (1983)
- [9] M. H. cohen, R.G. Neale and A. paskin: J. Non-Crystal Solids 8-10 (1972) 885.
- [10] C.H. Sie, M. P. Dugan and S. C. Moss : J. Non-Crystal Solids 9-10 (1972) 877.
- [11] G. V. Button and R. M. Quilliam : IEEE Trans. Electron Devices ED-20 (1973) 140.
- [12] J. R. Bonnell and C. B. Thomas : Philos. Mag. 27 (1973) 665.
- [13] Stefan Tyson, Steve Hudgens, Boil Pashmakov, Wally Czubyati, "Total Dose Radiation Response and High Temperature Imprint Characteristics of Chalcogenide Based RAM Resistor Element." IEEE vol. 47, No. 6, December 2000.
- [14] Jong-Hwa Park Jung-II Park, Eun-Su Kim, Hong-Bay Chung, "Holographic Grating Formation by Wet Etching of Amorphous $\text{As}_{40}\text{Ge}_{10}\text{Se}_{15}\text{S}_{35}$ Thin Film", Jpn. J. Appl. phys. Vol. 41, p.4271. 2002.
- [15] J. H. Yi, et al, "Novel Cell Structure of PRAM with Thin Metal Layer Inserted GeSbTe", IEDM, December 2003