

비정질 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 박막의 상변화에 따른 전기적 특성 연구

양성준, 이재민, 신 경, 정홍배
광운대학교 전자재료공학과

The electrical properties and phase transition characteristics of amorphous $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ thin film.

Sung-Jun Yang, Jae-Min Lee, Kyung Shin, 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. Memory switching in chalcogenides is mostly a thermal process, which involves phase transformation from amorphous to crystalline state.

The nonvolatile memory cells are composed of a simple sandwich (metal/chalcogenide/metal). It was formed that the threshold voltage depends on thickness, electrode distance, annealing time and temperature, respectively.

Keyword : phase change, nonvolatile memory, amorphous semiconductors, memory switching

1. 서 론

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

이러한 요구에 부합하는 비휘발성 메모리로는 플래시 메모리가 가장 보편화 되어있지만, 많은 소비전력과 느린 프로그래밍 시간 등의 단점이 있으며, 차후 나노 스케일 집적 시 선풍적 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 비정질 칼코게나이드를 이용한 상변화 메모리이다.

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 연구가 진행되어 왔다.[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, 결정질에서 비정질 혹은 그 반대의 현상을 얻기 위해서는 높은 전압 (10-20V), 큰 전류 (25-100mA) 그리고 넓은 펄스 (>1ms)가 필요하다.

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 비휘발성 메모리로서 비정질과 결정질 상태의 가역적 상변화를 이용한 비휘발성 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 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 의 삼원계 물질을 이용하여 상변화에 따른 전기적 특성에 대하여 알아보려고 한다.

2. 실험

본 논문에서는 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 삼원계 물질을 선택하였다. 조성은 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 이며 그 조성비는 참고문헌 [11] 내용 중 온도 및 전기적 특성이 우수한 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 을 기초로 하였다.

증착소스인 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 을 벌크로 제작 후 산화를 막기 위해 진공 봉인한 데시게이터에 보관하였으며, 진공 열 증착을 이용하여 박막을 제작하였다. 증착률은 0.3-0.4nm/s 그리고 박막의 두께는 100nm, 300nm, 500nm로 나누어 제작하였다.

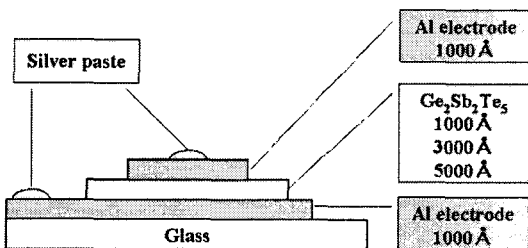


그림 1. 샘플 구조도

Fig. 1. Schematic illustrate of fabricated sample

비록 원래의 벌크와 증착 시 박막의 구조적 특

성이 약간 다를지라도 증착된 박막은 증착원의 구성임을 나타낸다. 상하부 전극은 Al을 이용하였으며, 실험 소자의 구성은 칼코게나이드 상하부에 Al 전극을 연결한 샌드위치 구조로 제작하였다.

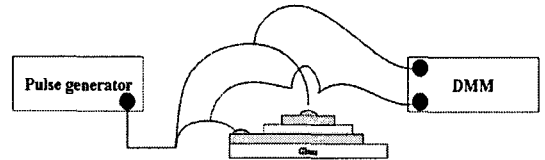


그림 2. 실험 회로도

Fig. 2. Schematic illustrate of experiment circuit

그림 2와 같이 샘플의 상하부 전극에 펄스 제너레이터를 이용하여 펄스를 가하고, 디지털멀티미터를 이용하여 저항의 변화를 측정하였다.

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 전기적 신호로서 샘플을 직접 가열하여 상변화 실험을 하였다.

실험에 쓰인 샘플은 칼코게나이드 박막의 두께가 각각 1000Å, 3000Å, 5000Å이고, 1시간동안 110°C에서 열처리를 하였다.

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

그림 3은 결정화된 I-V 특성으로 낮은 읽기 전압에서도 전류가 많이 흐르는 것을 알 수 있다. 그림 4는 비정질화 된 I-V 특성으로 상이 변화하여 상대적으로 전류가 흐르지 않는 것을 알 수 있다. 이때 쓰인 펄스의 크기와 넓이는 표 1과 같다.

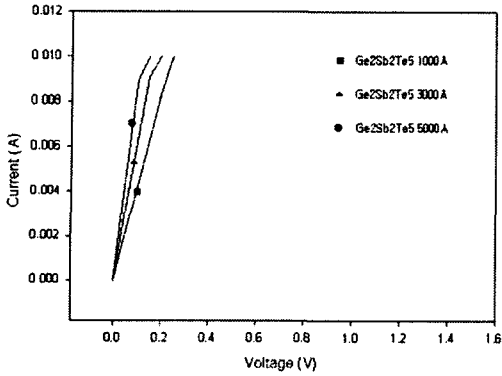


그림 3. 결정화된 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 의 I-V 특성곡선
 Fig. 3. Set characteristic curve with 1hour annealing $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$

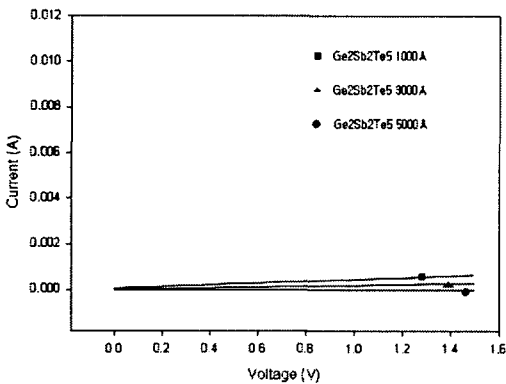


그림 4. 비정질화 된 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 의 I-V 특성곡선
 Fig. 4. Reset characteristic curve with 1hour annealing $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$

표 1. 칼코게나이드 박막의 두께별 상변화 전압과 넓이

	1000 Å	3000 Å	5000 Å
Set	7V, 5 μ s	6V, 20 μ s	16V, 10 μ s
Resistance	11.4 Ω	6.8 Ω	7.8 Ω
Reset	7V, 400ns	12V, 200ns	16V, 200ns
Resistance	4.1M Ω	5.58K Ω	2.15K Ω

펄스 전압과 넓이에 따른 Set operation은 수치적으로는 1000Å, 3000Å, 5000Å 각각 7V, 5 μ s, 6V, 20 μ s, 16V, 10 μ s 이다. 두께에 따른 전압은 두

께가 두꺼워 질수록 증가하지는 않으나 주울 (Joule)열로 변환 하였을 때는 많은 열량이 필요한 것으로 계산이 된다. Reset operation 역시 두께가 두꺼워 질수록 더 많은 주울 열이 필요하게 된다는 결과를 얻을 수 있었다.

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 상변화 실험과 전기적 특성을 실험을 하였다.

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

실험결과 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 의 두께별 상변화는 주울 열로 환산 하였을 때 두께가 두꺼워 질수록 많은 열이 필요하였다. 그러나 본 논문에는 탐재하지 않았지만 1000Å 이하의 두께에서는 주기적인 상변화를 일으키기가 힘들어 두께와 전력의 trade off가 필요한 것으로 사료된다.

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 낮아서 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)

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.

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 Czubyty, "Total Dose Radiation Response and High Temperature Imprint Characteristics of Chalcogenide Based RAM Resistor Element." IEEE vol. 47, No. 6, December 2000.
- [11] Jong-Hwa Park Jung-II Park, Eun-Su Kim, Hong-Bay Chung, "Holographic