

칼코게나이드 박막의 전기적 펄스에 의한 상변화 연구

양성준, 신경, 이재민, 정홍배
광운대학교 전자재료공학과

The phase transition with electric field in chalcogenide thin films

Sung-JUn Yang, Kyoung 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. AST(AsSbTe) used to phase change material by applying electrical pulses. Thickness of AST chalcogenide thin film have about 100nm. Electrodes are made of ITO and Al. T_c (Crystallization temperature) of AST system is lower than that of the GST(GeSbTe) system, so that the current pulse width of crystallization process can be decreased.

Keyword : Phase transition, Amorphous, Chalcogenide, AsSbTe, GeSbTe

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.

1970년대, 비휘발성 메모리소자는 다양한 칼코게나이드 반도체를 이용한 연구는 활발하게 이루어졌다.[2-5] 특히 Sb와 같은 소량의 제3의 원소를 함유한 Ge-Te 시스템이 집중적으로 연구되었다. 그러나 그 수행실적은 충분히 만족스럽지 않았다. 예를 들어, 높은 전압(10~20V), 큰 전류(25~100mA) 그리고 넓은 펄스(>1ms)는 결정질과 비정

질의 상변화를 일으키는데 필수적이었다. 비정질 칼코게나이드 반도체의 박막 경계면의 전기적 특성[6]과 비정질 칼코게나이드 반도체의 ON-OFF상태 전이특성[7]에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔고, 그 후 상변화 기술은 재기록이 가능한 CD와 DVD의 광디스크 저장매체의 발전으로 이어졌다 [8].

Chalcogenide RAM(이하 C-RAM)은 비휘발성 메모리로 비정질 칼코게나이드 물질을 기반으로 하여 비정질과 결정질 상태의 가역적 상변화를 이용한 비휘발성 메모리이다. 이런 상변화는 소자의 체적을 전기적인 펄스로 가열하고 냉각시키면서 상대적인 저항변화를 얻을 수 있다.[9]

C-RAM이 기타 다른 메모리와의 경쟁력을 갖는 부분은 쓰기/읽기 성능, 내구성, 저전력 소자, 프로세스의 간단화, 비용, 그리고 CMOS embeddability

을 들수 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.[10]

본 논문에서는 As-Sb-Te와 Ge-Sb-Te 삼원계 물질의 결정화 온도(T_c)와 상변화 특징에 대해 실험하였다.

2. 실험

본 연구에서는 As-Sb-Te, Ge-Sb-Te 삼원계 물질을 선택하였다. $As_2Sb_2Te_5$, $Ge_2Sb_2Te_5$ 벌크를 제작하였다.[11] 증착소스인 Ge-Sb-Te, As-Sb-Te, 벌크는 제작 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.

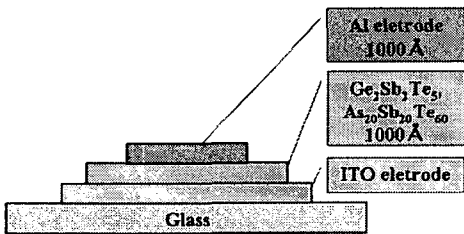


그림 1. 제작한 샘플의 모형도
Fig. 1. Schematic illustrate of fabricated sample

3. 결과 및 고찰

비정질 칼코게나이드의 상변화는 T_g 이상의 온도가 열 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 $Ge_2Sb_2Te_5$ 과 $As_2Sb_2Te_5$ 샘플의 온도 변화에 따른 전도도 변화를 나타내고 있다. 온도 상승률은 2.5 K/min이다.

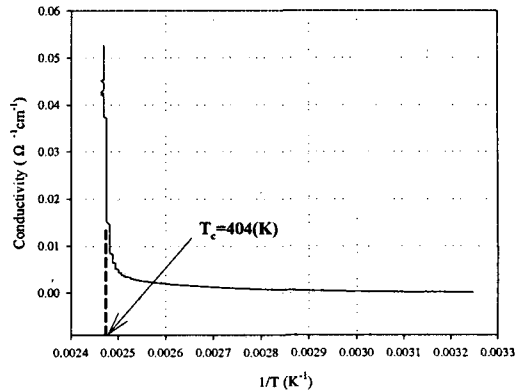


그림 2. $Ge_2Sb_2Te_5$ 박막의 온도에 따른 전도도
Fig. 2. Temperature dependence of conductivity of the $Ge_2Sb_2Te_5$

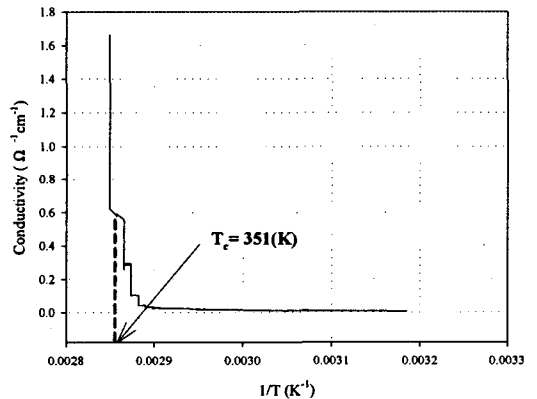


그림 3. $As_2Sb_2Te_5$ 박막의 온도에 따른 전도도
Fig. 3. Temperature dependence of conductivity of the $As_2Sb_2Te_5$

그림 2와 그림 3에서 보는 바와 같이 $Ge_2Sb_2Te_5$ 샘플과 $As_2Sb_2Te_5$ 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. 이런 결과는 결정질과 비정질상의 두 상의 변화를 일으키는데 더 작은 에너지로 상변화가 가능함을 예측할 수 있다.

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 해결 할 수 있을 것으로 사료된다.

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

$As_2Sb_2Te_5$ 결정화 온도(T_c)는 $Ge_2Sb_2Te_5$ 보다 낮았다. 그리고 전기적 펄스를 가한 후 샘플의 I-V 특성은 $Ge_2Sb_2Te_5$ 와 $As_2Sb_2Te_5$ 은 각각 0.92V와 0.68V의 문턱전압을 갖았다.

낮은 전기적 펄스에 의한 상변화는 차후 칼코게나이드 메모리에 응용 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2003-041-D20231)

참고문헌

[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. mechanical properties of ceramics", J. Mater. Sci., Vol. 15, No. 1, p. 10, 2001.

[2] M. H. Cohen, R.G. Neale and A. Paskin: J. Non-Crystal Solids 8-10 (1972) 885.

[3] C. H. Sie, M. P. Dugan and S. C. Moss : J. Non-Crystal Solids 9-10 (1972) 877.

[4] G. V. Bunton and R. M. Quilliam : IEEE Trans. Electron Devices ED-20 (1973) 140.

[5] J. R. Bosnell and C. B. Thomas : Philos.

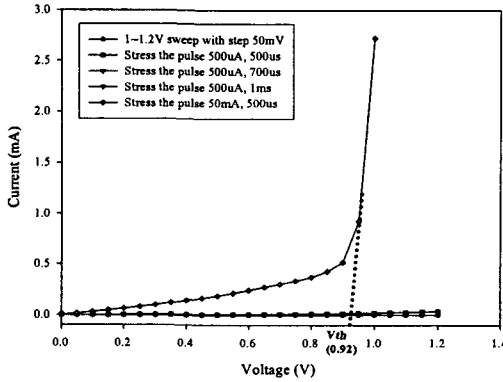


그림 4. $Ge_2Sb_2Te_5$ 샘플의 I-V 특성 곡선
Fig. 4. I-V characteristic curve ($Ge_2Sb_2Te_5$)

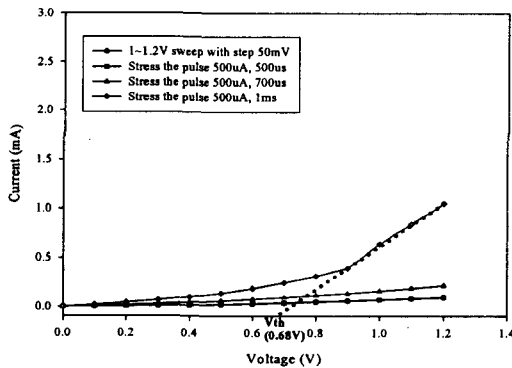


그림 5. $As_2Sb_2Te_5$ 샘플의 I-V 특성 곡선
Fig. 5. I-V characteristic curve ($As_2Sb_2Te_5$)

그림 4와 그림 5는 샘플에 각각의 펄스를 인가 후 0~1.2V까지의 I-V 특성 그래프를 나타내고 있다. $Ge_2Sb_2Te_5$ 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. 그때 문턱전압은 $Ge_2Sb_2Te_5$ 의 경우 0.92V였고, $As_2Sb_2Te_5$ 의 경우 0.68V였다.

이는 그림 2, 3에서 알아본 결정화 온도의 차이로 인해, 전기적 펄스를 인가했을 때, $Ge_2Sb_2Te_5$ 샘플보다 $As_2Sb_2Te_5$ 샘플이 더 낮은 전류펄스로 상변화를 일으킬 수 있었던 것으로 사료된다.

Mag. 27 (1973) 665.

[6] Hong-Bay Chung*, Chang-Yub Park**, "Electrical Characteristics of the Thin Film Interface of Amorphous Chalcogenide Semiconductor," Yeonsei Univ**, Kwangwoon Univ*, Dec. 14. 1979.

[7] Hong-Bay Chung, Transition Characteristics of ON-OFF State of Amorphous Chalcogenide Semiconductor,"Kwangwoon Univ, Mar, 1980.

[8] 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.

[9] 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.

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

[11] Jong-Hwa Park Jung-Il 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.