

PRAM을 위한 $Ag_x(Ge_2Sb_2Te_5)_{1-x}$ ($x= 0, 0.05, 0.1$) 박막의 특성

김성원^a, 송기호, 이현용
전남대학교

Characteristics of $Ag_x(Ge_2Sb_2Te_5)_{1-x}$ ($x= 0, 0.05, 0.1$) thin films for PRAM

Sung-Won Kim^a, Ki-Ho Song, and Hyun-Yong Lee
Chonnam National Univ

Abstract : In the paper, we report several experimental data capable of evaluating the phase transformation characteristics of $(Ag)_x(Ge_2Sb_2Te_5)_{1-x}$ ($x=0, 0.05, 0.1$) thin films. The $(Ag)_x(Ge_2Sb_2Te_5)_{1-x}$ phase change thin films have been prepared by thermal evaporation. The crystallization characteristics of amorphous $(Ag)_x(Ge_2Sb_2Te_5)_{1-x}$ thin films were investigated by using nano-pulse scanner with 658 nm laser diode (power; 1~17 mW, pulse duration; 10~460 ns) and XRD measurement. It was found that the more Ag is doped, the more crystallization speed was so improved. In comparison with $Ge_2Sb_2Te_5$ thin film, the sheet resistance (R_{amorph}) of the amorphous $(Ag)_x(Ge_2Sb_2Te_5)_{1-x}$ thin films were found to be larger than that of $Ge_2Sb_2Te_5$ film ($R_{amorph} \sim 10^7 \Omega/\square$ and R_{cryst} 10 Ω/\square). That is, the ratio of R_{amorph}/R_{cryst} was evaluated to be $\sim 10^6$. This is very helpful to writing current reduction of phase-change random access memory.

Key Words : GeSbTe, PRAM, amorphous materials, phase change characteristics, optical properties

1. 서론

오늘날 디지털 시대의 발전과 인터넷 보급의 활성화로 각종 휴대용 전자기기에 필요한 반도체 기술은 높은 저장 밀도, 빠른 속도, 비 휘발성, 낮은 생산가격, 낮은 전력소모 등 다양한 조건을 만족해야 한다. 이러한 요구에 부합하는 차세대 비 휘발성 메모리 소자로서 PRAM은 비정질과 결정질 간의 상변화를 통한 저항차를 이용하는 비휘발성 메모리 소자로서 고집적도에 유리하고, 소자의 구조와 제작공정이 단순하며, 빠른 동작 속도와 높은 재 기록 횟수를 가진다[1].

PRAM에 사용되는 상변화 재료로서 Se 및 Te를 기반으로 하는 칼코게나이드계 물질이 연구되고 있다. 칼코게나이드 물질에 Ge, Sb 와 같은 4족 혹은 5족 원소를 첨가하면 결정화 온도를 증가시키거나 구조적인 안정화를 향상시킬 수 있다. 특히 Te에 Ge과 Sb이 첨가된 $GeTe-Sb_2Te_3$ 유사이원선(pseudobinary line)을 따르는 $GeSbTe$ 계 화합물은 결정화가 되었을 때 비정질 구조와 유사한 입방정계의 결정상을 가지므로 다른 상변화 재료에 비하여 빠른 결정화 속도를 지니는 것으로 알려져 있다. 이러한 $GeSbTe$ 계 화합물 중 특히 $Ge_2Sb_2Te_5$ 의 경우에 비교적 빠른 상변화 속도를 가지고 구조적인 안정성이 높아서 현재 가장 적합한 상변화 재료로서 사용되고 있다[2,3].

본 연구에서는 PRAM 상변화 재료로 가장 널리 이용되고 있는 $Ge_2Sb_2Te_5$ 박막에 전기전도성이 높은 Ag를 첨가하여 비정질, 결정질 상에서의 구조적, 광학적, 전기적 기본 특성 및 상변화 속도를 평가하였다.

2. 실험

본 연구에서는 $(Ag)_x(Ge_2Sb_2Te_5)_{1-x}$ 에 대해 $x = 0, 0.05, 0.1$ 에 각각 대응되는 $Ge_2Sb_2Te_5$, $Ag_{0.05}(Ge_2Sb_2Te_5)_{0.95}$, 및 $Ag_{0.10}(Ge_2Sb_2Te_5)_{0.90}$ 조성의 시료를 선택하였다. 벌크시료는

5N의 순도를 갖는 원소를 각각의 원자량 조성비에 맞추어 평량하고 석영관에 진공 봉입하여 전형적인 용융-냉각 법으로 제작하였다. 박막은 약 1×10^{-5} Torr 의 진공에서 Si(100) 및 유리(Coring glass 7059) 기판 위에 진공 열 증착 방식으로 제작하였다. 증착된 박막은 각 조성별로 100°C에서 300°C까지 약 50°C 간격으로 열처리를 실시하였다. 열처리 과정은 200 sccm의 N_2 분위기에서 진행하였다. 열처리 전, 후 박막은 XRD (X'pert PRO MRD) 측정을 통하여 각 상의 구조를 분석하였다. 열처리 온도에 따른 전기적 특성을 파악하기 위하여 4-point probe (CNT-series)를 이용하여 박막의 면저항을 측정하였다. 최종적으로 658 nm의 레이저 다이오드가 장착된 나노-펄스 스캐너(nano-pulse scanner)를 사용하여 박막의 상변화에 따른 반사도 차이를 측정함으로써 각 조성 박막의 비정질-결정질 상변화 속도를 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

각 조성 박막의 열처리 온도에 따른 XRD 측정 결과를 그림 1에 보였다. 증착직후와 100°C 및 130°C 열처리된 박막에서는 전형적인 비정질 패턴을 보였고, 160°C 이상에서 그림 1(a)~(c)에 표시한 것처럼 (111), (200), (220)등의 전형적인 fcc 구조(■)의 XRD 피크가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 250°C 이상에서 열처리된 박막은 noise가 다소 발생하지만 2θ ~ 29.5°에서 보이는 HEX (103), 39.5°에서 보이는 HEX (106)등의 회절면에서 나타나는 강한 피크로부터 hexagonal 구조(O)를 확인할 수 있다. 즉, 본 실험에 사용된 $(Ag)_x(Ge_2Sb_2Te_5)_{1-x}$ 박막은 열처리 온도 증가에 따라 모두 비정질 → fcc → hexagonal로의 상변화 과정을 보인다. 특히, 300°C 열처리 시료에 대해 그림 1(a)의 $Ge_2Sb_2Te_5$ 박막의 경우 hexagonal 이 주를 이루는 반면에 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 Ag가 0.05첨가된 $Ag_{0.05}(Ge_2Sb_2Te_5)_{0.95}$ 박막의 경우 300°C

열처리 박막에서도 높은 세기의 fcc 피크들이 관찰된다. 더욱이 Ag가 0.1 첨가된 박막 그림 1(c)의 경우 300°C 열처리에서조차 HEX (106) 피크는 관찰되지 않았다. 이상으로부터 Ge₂Sb₂Te₅ 박막에 첨가된 Ag는 비정질 상 안정제로 작용하고 fcc 상으로부터 hexagonal 상으로의 전이를 어렵게 하며, 전반적으로 결정화 온도를 높이는 작용을 하는 것으로 생각할 수 있다.

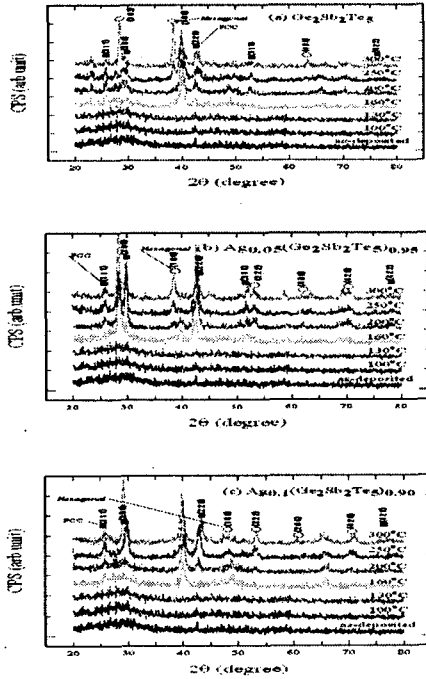


그림 1. (a) Ge₂Sb₂Te₅, (b) Ag_{0.05}(Ge₂Sb₂Te₅)_{0.95} 및 (c) Ag_{0.10}(Ge₂Sb₂Te₅)_{0.90} 박막의 XRD 패턴

그림 2는 각 조성에 대한 면저항 값을 보여준다. Ag의 함량이 증가할수록 면저항 값이 증가하며 특히, Ag_{0.10}(Ge₂Sb₂Te₅)_{0.90}의 경우는 다른 조성에 비하여 상대적으로 비정질과 결정상 모두 매우 높은 면저항 값을 보여준다. Ag의 첨가에 따른 높은 무질서도에 의한 갭 내 상태는 비정질의 저항을 높이고 열전도도를 낮춘다. 이러한 열전도도의 감소는 광 흡수 전류에 의해 발생하는 열의 효율을 높일 수 있을 것이다. 또한 비정질에서 높은 저항은 메모리 소자로 구동하는 경우 필요한 소비전력을 낮출 수 있다.

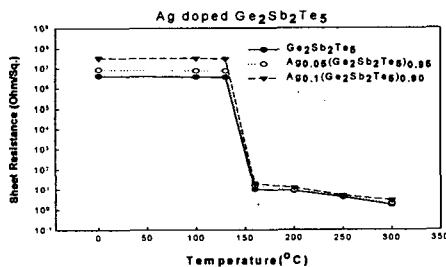


그림 2. (Ag)_x(Ge₂Sb₂Te₅)_{1-x} 박막의 열처리 온도에 따른 면저항 변화.

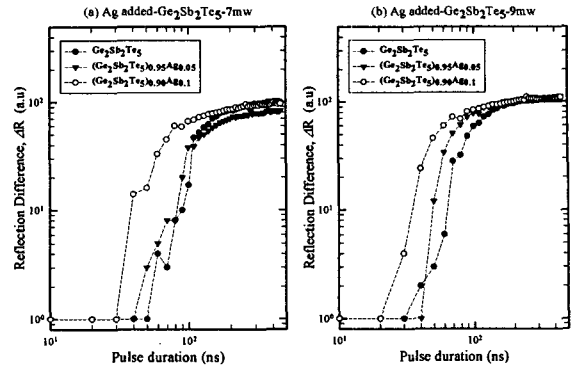


그림 3. (a) 7 mW 및 (b) 9 mW 에서 측정된 (Ag)_x(Ge₂Sb₂Te₅)_{1-x} 박막의 결정화 형성에 따른 반사도 변화

나노-펄스 스캐너 측정을 통하여 광 조사 전 후의 반사도 차이를 바탕으로 상변화 재료들의 결정화 속도 및 결정화 정도를 비교하였다. 그림 3는 상대적으로 낮은 파워인 7 mW 및 9 mW 에서의 각 조성에 대한 로그-스케일의 pulse duration vs reflection difference (ΔR)의 그래프를 보여 준다. Ag의 첨가량이 증가하면서 결정화 속도는 증가되었고, 9 mW에 대해 Ag가 약 0.1첨가됨에 따라 Ge₂Sb₂Te₅ 박막의 결정화 속도는 30 ns에서 20 ns로 크게 향상되었음을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 Ge₂Sb₂Te₅ 박막에 전기전도성이 우수한 Ag를 첨가한 (Ag)_x(Ge₂Sb₂Te₅)_{1-x} 박막에서의 구조적, 광학적, 전기적 기본 특성 및 비정질-결정질 간 상변화 속도를 연구하였다. XRD 결과를 통해 Ag-첨가 박막에 대한 거시적인 열 노출은 비록 결정화 온도를 증가시키지만, 나노-펄스 스캐너에 의한 미시적 노출에서 Ag의 첨가량의 증가는 결정화 속도를 향상시킴을 알 수 있었다. 또한 Ag의 첨가에 따라 면저항 값은 증가하고 비정질에서 높은 저항은 메모리 소자로 구동하는 경우 필요한 소비전력을 낮출 수 있을 것으로 평가된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 차세대 성장 동력 반도체 사업단 삼성전자 지원의 연구비에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] R. Neelson, D. Neelson, Gordon Moore, "Nonvolatile and reprogrammable, the read-mostly memory is here", Electronics, pp. 56, (1970).
- [2] Jon Maimon, Ed spall, Robert Quinn, Steven Schnur, "Chalcogenide based Non-volatile Memory Technology", 2001 IEEE, pp. 2289 (1985).
- [3] S. Ovshinsky, " Amorphous Materials-The Key to New Devices", IEEE proc. of CAS, Vol. 1, pp. 33, (1998)