

Te_x(Sb₈₅Ge₁₅)_{100-x} 상변화 광기록 박막의 결정화 특성

11-4-10

Crystallization Properties of Te_x(Sb₈₅Ge₁₅)_{100-x} Thin Film as Phase Change Optical Recording Media

김홍석*, 이현용**, 정홍배*

(Hong-Seok Kim, Hyun-Yong Lee, Hong-Bay Chung)

Abstract

In this study, we have investigated crystallization properties of Te_x(Sb₈₅Ge₁₅)_{100-x} (x=0.3, 0.5, 1.0) thin films prepared by thermal evaporation. The change of reflectance according to phase change from amorphous to crystalline phases with annealing and exposure of diode laser is measured by the n&k analyzer and the surface morphology between amorphous and crystalline phase is analyzed by SEM and AFM. The difference in reflectance(ΔR) between amorphous and crystalline phases appears approximately 20% at the diode laser wavelength, 780nm in all prepared films. Especially, the reflectance difference, ΔR comes up to about 30% in Te_{0.5}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.5} thin film. Also, amorphous-to-crystalline phase change is observed in all prepared films. As a result of the measurement of the reflectance using diode laser, the reflectance is increased in proportion to the laser power and exposure time in all films. As a result of observing each film with the SEM and AFM, the surface morphology of the annealed and the exposed films are evidently increased than those of as-deposited films. The fast crystallization is occurred by increasing in Te content. Therefore, we conclude that the Te_{0.5}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.5} and Te₁(Sb₈₅Ge₁₅)₉₉ thin films can be evaluated as an attractive optical recording medium with high contrast ratio and fast erasing time due to crystallization.

Key Words(중요용어) : Reflectance(반사도), Phase change(상변화), Optical recording(광기록), Crystallization(결정화), Erasing(소거)

1. 서 론

현재 급속히 진전되고 있는 사회의 고도 정보화는 반도체, 광섬유, 레이저, 자기 디스크등의 발명에 의해 도약의 계기가 되었다. 광기록(optical memory)은 정보통신 기술 사상 또 하나의 도약을 약속하는 재료 기술의 산물로서 광범위한 분야에 걸쳐 파급 효과가 두드러지고 있다. 따라서 대용량

의 정보를 효과적으로 저장할 수 있는 기록 매체인 광기록 매질 개발에 관심이 집중되고 있다. 이러한 광기록 저장 매질로는 그 기능에 따라 사용자에게 의한 정보 기억이 불가능하고 단지 이미 기록되어 있는 정보를 재생만 할 수 있는 재생 전용형(ROM)¹⁾, 사용자가 기억은 시킬 수 있으나 지우고 다시 기록할 수 없는 추가 기록형(Write-Once)²⁾, 그리고 정보를 반복하여 기록하고 소거 재생이 가능한 가역형(Rewritable)³⁾의 3가지로 분류된다. 이 중에서 재생 전용형은 현재 상품화되어 광범위하게 사용되고 있으며, 추가 기록형은 문서 저장용 등에 이용되고 있다. 이 두가지 형태는 집속된 광조사에 의해 유기된 열로 미세 구멍(hole)을 형성하여 비트(bit)의 형태로 정보를 기록하는

* : 광운대학교 공대 전자재료공학과
(서울시 노원구 월계동 447-1, Fax:02-943-3590
E-mail: hbchung@daisy.kwangwoon.ac.kr)
** : 광운대학교 신기술연구소
1997년 12월 2일 접수, 1998년 3월 10일 심사완료

방법이다. 그러나 앞으로 연구 개발의 초점이 될 분야는 가역형 광기록 매질의 개발인데, 이는 기억 매체가 구비해야 할 모든 기능을 가지고 있어 재생 전용형과 추가 기록형을 대체할 수 있는 동시에 기존의 자기 기억 매체와 결합될 수 있다. 가역형에는 광자기형(Magneto-Optic)과 상변화형(Phase-change)이 있다.

광자기형은 자기광학 효과가 큰 수직자화 박막 재료의 미소 자구(magnetic domain)를 기억 비트 단위로 하는 방식으로 희토류-천이 금속계 비정질 합금 박막이 기억 매체로 사용된다. 그러나 재생시 편광의 회전각이 작기 때문에 신호의 감도가 약해 SNR (Signal-to-Noise Ratio)의 개선이 어려우며, 광자기 헤드에 편광 광학계가 설치되어 구조가 복잡하다^{4),5)}.

이에 비해 상변화형은 집속된 레이저 빛을 조사하여 기록막을 용점 이상 즉, 높은 레이저 세기와 짧은 펄스로 가열시킨 후, 급냉시켜 비정질 상태로 만들어 정보를 기록하고 결정화 온도(T_c) 부근에서 가열하여 결정질 상태를 얻어 정보를 소거할 수 있으며, 두 상태의 반사도 차를 이용하여 기록된 정보를 재생하는 방법이다. 또한 상변화형 광기록은 이미 기록되어 있는 정보를 소거하면서 새로운 정보를 기록할 수 있는 직접 덮어쓰기(Direct Overwrite)가 가능하다. 이와 같이 레이저 세기의 변화만으로 정보를 기록, 소거할 수 있고 직접 덮어쓰기가 가능하므로 레이저와 자기 헤드를 동시에 사용하여 기록하고 빛의 편광 각도를 검출하여 재생하는 광자기 방식보다 원리적으로 더 우위에 있다^{6),7)}.

상변화형 광기록 매질에서 가장 요구되는 특성은 실온에서의 긴 안정도를 유지하며 빠른 결정화 속도를 필요로 한다. 이러한 상변화형 광기록 매질로는 Te를 기본으로 한 칼코게나이드계 박막이 주로 사용되어 활발히 연구되고 있다^{8),9),10)}. 그러나 이러한 매질은 정보의 기록과 소거를 되풀이함에 따라 구성층 재료에 열화가 발생하며, 특히 Te의 경우 대기 중의 습기에 의해 TeO_2 로 쉽게 산화되므로 박막의 광학적 특성이 변화하게 되어 기록된 정보의 안정성을 저하시킨다¹¹⁾. 따라서, 현재의 경향은 결정화 시간을 줄이기 위하여 Sb 합금을 포함하는 새로운 매질에 대한 연구가 활발히 진행 중이다^{12),13)}.

따라서, 본 연구에서는 Te의 단점을 보완하고 빠른 결정화 시간을 가지는 상변화형 광기록 매질 개발을 위한 기초적 연구 단계로서

$Te_x(Sb_{85}Ge_{15})_{100-x}$ ($x=0.3, 0.5, 1$ at.%) 박막을 제조하여 비정질 상태와 열처리 및 다이오드 레이저 조사에 의한 결정질 상태의 반사도를 조사하고 SEM(scanning-electron microscopy)과 AFM(atomic-force microscopy)분석을 통해 표면 상태 변화를 고찰하여 상전이형 광기록 매질로의 응용 가능성을 조사하고자 한다.

2. 실험

2.1 시료 제작

순도가 5N(5-nine)인 Te, Ge, Sb를 사용하여 $Te_x(Sb_{85}Ge_{15})_{100-x}$ 계 시료를 조성비 $x=0.3, 0.5, 1$ at.%에 알맞게 각 원소의 원자량비(atomic weight %)로 0.1mg까지 전자천평(Alsep MEV-198A)으로 정확히 평량하였으며, 평량한 각 원소를 내경이 10 mm인 석영관 속에 넣고 약 10^{-5} Torr로 진공 배기시키며 봉입하였다.

진공 봉입된 석영관을 전기로에 넣어 Te의 용융점 부근인 500°C 와 Sb의 용융점 부근인 700°C 에서 각각 2시간, 그리고 Ge의 용융점 부근인 1000°C 에서 24시간 동안 가열하여 각 원소들의 반응을 촉진시키면서 용융 상태를 유지하였다. 이 때 각 원소들의 균일한 혼합을 위하여 1시간 간격으로 전기로를 흔들어 주었다. 가열이 끝난 후 전기로에서 꺼낸 석영관을 비정질상을 얻기 위하여 공기 중에서 몇 초간 급냉시킨 후 물속에서 급냉시켜 벌크 시료를 제작하였다. 이렇게 제작된 벌크는 진공 열 증착기를 이용하여 2×10^{-5} Torr의 진공도에서 증기압이 높은 Sb의 증착에 의한 박막의 조성 변화를 피하기 위해 빠른 속도(~ 20 A/s)로 증착하여 박막을 제조하였다. 기판은 탈이온 증류수, T.C.E., 아세톤, 메틸알콜의 순으로 세척한 corning glass를 사용하였고 보트로는 Mo 보트를 사용하였다. 박막의 두께는 crystal sensor(Leybold Inficon 6Mz)를 이용한 thickness monitor(MAXTEK, INC. TM-200R)로 증착과 함께 측정 후 n&k analyzer(NKT 1200)를 이용하여 확인하였으며, 제작된 박막의 두께는 250 Å로 하였다. 이와 같이 제작된 박막들은 420°C 에서 열처리를 하였다.

2.2 측정

제작한 박막의 조성 분석을 위하여 AES 분석을 행하였으며, 비정질 박막과 열처리에 의해 결정화된 박막의 반사도와 다이오드 레이저의 출력과 조사 시간에 따른 반사도 변화는 n&k analyzer (NKT 1200)를 사용하여 측정하였다. 또한 박막의 결정상을 관찰하기 위해 SEM 분석과 AFM 분석으로 박막의 표면 상태를 조사하였다. 그림 1은 실험에 대한 전반적인 개략도를 나타낸 것이다.

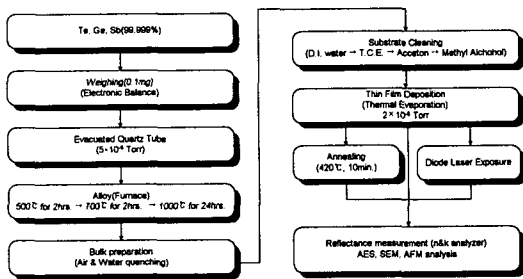


그림 1. 실험에 대한 전반적인 개략도
Fig. 1. The Diagram of experiment

3. 결과 및 고찰

박막의 상변화 특성을 관찰하기 위한 결정화 온도(T_c)는 TG-DTA 분석 결과 약 418°C에서 관찰되었으며, 측정된 결과에 의해 열처리 온도는 각 시료에 대해 420°C의 온도를 선택하여 열처리를 행하였다.

제작된 시료의 조성 분석은 AES(Auger Electron Spectroscopy)를 이용하였으며 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림에서 보여주듯이 Te, Ge, Sb의 각 원소가 모든 시료에 대해 전반적으로 균일한 조성 분포를 보여주고 있다. 그 중 그림 2(c)에서 보여주는 Te₁(Sb₈₅Ge₁₅)₉₉ 박막의 경우 표면에서 깊이가 들어갈수록 Ge 성분이 증가하는 경향을 보여준다. 이 같은 경우는 실제 광 디스크 제작 후 정보의 기록과 소거시 특성의 저하를 가져올 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 증착 조건을 조절하거나 스퍼터링 또는 전자빔 증착 방법 등을 이용하면 더 균일한 조성 분포를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

과장에 따른 증착 직후의 박막과 열처리한 박막의 반사도를 4000~9000Å의 범위에서 측정된 결과를 그림 3에 나타내었다.

모든 시료에 대해 전 과장에서 열처리한 박막의 반사도가 증착 직후의 박막보다 더 증가함을 알 수 있다. 이것은 비정질 상태에서 결정질 상태로의 상변화에 의해 반사도가 증가한 것으로 사료된다. 그리고 증착 직후 상태(비정질)와 열처리한 상태(결정질) 사이의 반사도 차(ΔR)는 다이오드 레이저 과장(7800Å)에서 Te을 0.3, 0.5, 1at.%로 첨가한 경우 각각 19, 30, 22%를 나타내었다. 일반적으로 상변화형 광기록 매질로 사용되기 위해서는 두 상태의 반사도 차이가 약 20% 이상이 요구되며 그림 3에서 볼 수 있듯이 모든 시료가 이 조건을 만족함을 알 수 있다. 이 중 특히, 30%의 반사도차(ΔR)를 보여주는 Te_{0.5}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.5} 박막의 경우 상변화형 광기록 매질로 응용시 고대비도를 보여주는 우수한 특성을 보여줄 수 있으리라 기대된다. 따라서 그림 3의 반사도 측정 결과 그림 2(c)에서 보여준 박막의 조성적 불균일은 광기록 특성에 별로 영향을 미치지 않는다고 생각된다.

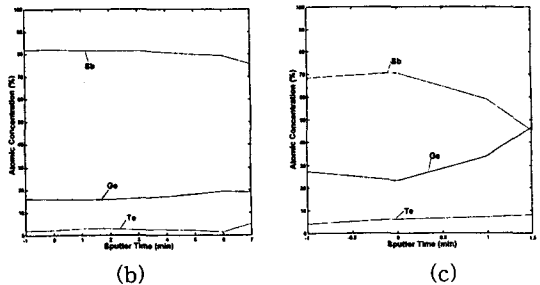
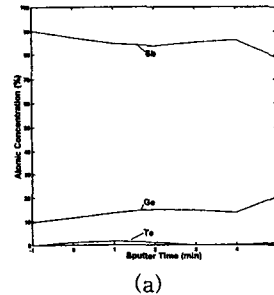


그림 2. 증착 직후 박막의 AES 분석 결과
(a) Te_{0.3}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.7} (b) Te_{0.5}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.5}
(c) Te₁(Sb₈₅Ge₁₅)₉₉

Fig. 2. The AES analysis of as-deposited thin films

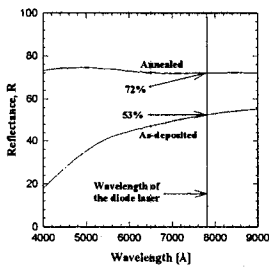
(a) Te_{0.3}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.7} (b) Te_{0.5}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.5}
(c) Te₁(Sb₈₅Ge₁₅)₉₉

또한 박막의 표면 상태를 조사하기 위해 SEM 분

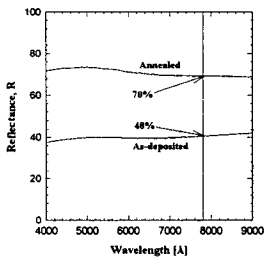
석을 행하였으며 증착 직후의 박막과 열처리한 박막에 대한 결과를 각각 사진 1과 2에 나타내었다.

사진 1에서 보여주는 증착 직후 박막들의 경우 모든 박막에서 표면이 거의 평탄한 상태를 보여주지만 사진 2의 열처리한 박막들의 경우 약 1000~5000Å 범위의 crystallite가 형성됨을 볼 수 있었다. 특히, $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$ 박막의 경우 균일 크기의 crystallite를 관찰할 수 있으며 Te의 도핑량이 증가할수록 crystallite의 크기가 점점 감소함을 볼 수 있다.

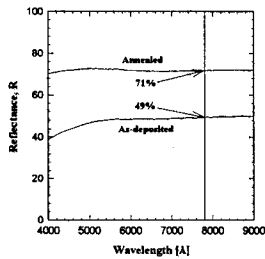
그림 4는 AFM을 이용하여 증착 직후 박막의 표면 구조 상태를 나타낸 것이다. 각 그림의 좌측 숫자는 표면 요철의 크기를 나타낸다. 모든 박막에서 표면 요철의 크기가 거의 일정하며 대부분 평탄함을 볼 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 3. 파장에 따른 증착 직후와 열처리한 박막의 반사도 변화

- (a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

Fig. 3. The reflectance changes of as-deposited and annealed thin films as a function of wavelength

- (a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

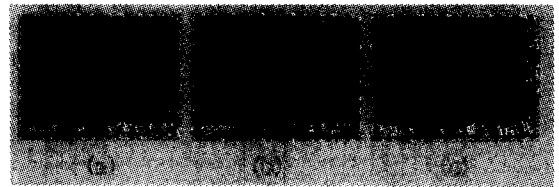


사진 1. 증착 직후 각 박막의 SEM 표면 분석 결과

- (a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

Pic. 1. SEM analysis of as-deposited each film

- (a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

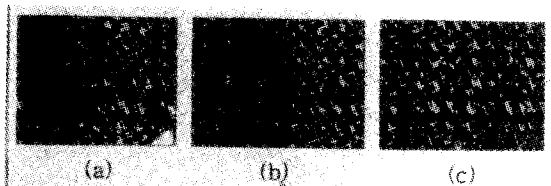


사진 2. 열처리에 의한 각 박막의 SEM 표면 분석 결과

- (a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

Pic. 2. SEM analysis of annealed each film

- (a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

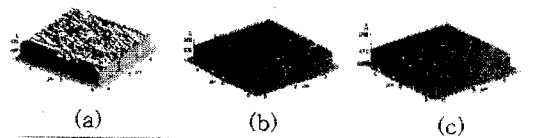


그림 4. 증착 직후 각 박막의 AFM 표면 분석 결과

- (a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

Fig. 4. AFM analysis of as-deposited each film

- (a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

그림 5는 열처리한 박막들의 표면 상태를 나타낸 그림이다. 증착 직후의 상태에 비해 열처리한 경우 표면 거칠기가 증가함을 볼 수 있다. 이는 박막이 일부 용융 및 응고되어 나타나는 현상으로 생각된다. 이러한 표면의 요철이 클 경우 광이 산란되어 반사도를 감소시키는 주된 요인으로 작용할 수 있

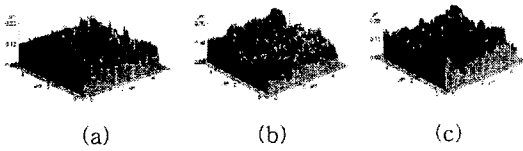


그림 5. 열처리에 의한 각 박막의 AFM 표면 분석 결과

- (a) Te_{0.3}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.7} (b) Te_{0.5}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.5}
- (c) Te₁(Sb₈₅Ge₁₅)₉₉

Fig. 5. AFM analysis of annealed each film

- (a) Te_{0.3}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.7} (b) Te_{0.5}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.5}
- (c) Te₁(Sb₈₅Ge₁₅)₉₉

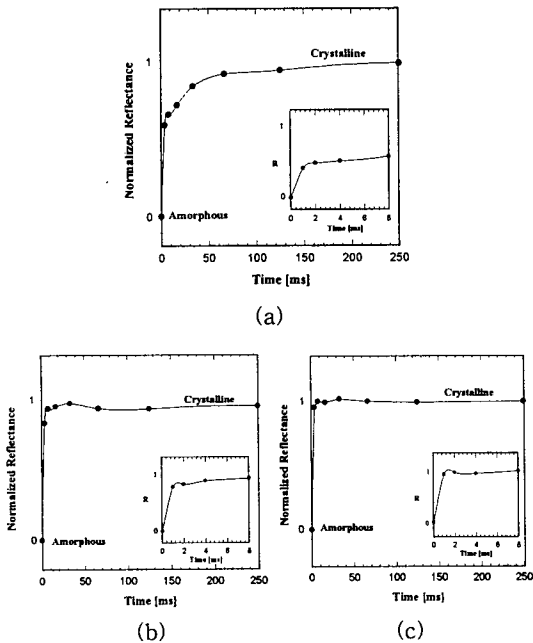


그림 6. 레이저 조사 시간에 따른 각 박막의 반사도 변화

- (a) Te_{0.3}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.7} (b) Te_{0.5}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.5}
- (c) Te₁(Sb₈₅Ge₁₅)₉₉

Fig. 6. The reflectance changes of each film as a function of exposure time of diode laser

- (a) Te_{0.3}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.7} (b) Te_{0.5}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.5}
- (c) Te₁(Sb₈₅Ge₁₅)₉₉

으나 본 실험에서 사용된 박막들의 경우 비정질-결정질간의 반사도 차(ΔR)가 약 20% 이상의 우수한 특성을 보여주었다. 따라서 적절한 열처리 조건

을 찾을 경우 더욱 우수한 특성을 보여줄 것으로 기대된다.

그림 6은 다이오드 레이저 세기를 8mW로 했을 때 레이저 조사 시간에 따른 각 박막의 반사도 변화를 다이오드 레이저 파장대(λ=7800Å)에서 규격화시켜 나타낸 곡선이다.

그림 6에서 볼 수 있듯이 Te_{0.3}(Ge₁₅Sb₈₅)_{99.7}, Te_{0.5}(Ge₁₅Sb₈₅)_{99.5} 그리고 Te₁(Ge₁₅Sb₈₅)₉₉ 각 박막에 대해 레이저 조사 시간이 증가할수록 비정질 상태에서 결정질 상태로 반사도는 증가하며 Te이 많이 첨가될수록 더 빠르게 결정화가 발생한다.

그림 7은 다이오드 레이저 조사 시간을 4ms로 했을 때 레이저 출력 변화에 따른 각 박막의 반사도 변화를 조사한 곡선이다.

그림 7에서 보여주듯이 모든 박막에서 레이저 출력이 증가할수록 반사도는 증가하며 Te이 많이 첨가될수록 더 낮은 레이저 세기로도 결정화가 가능함을 알 수 있다.

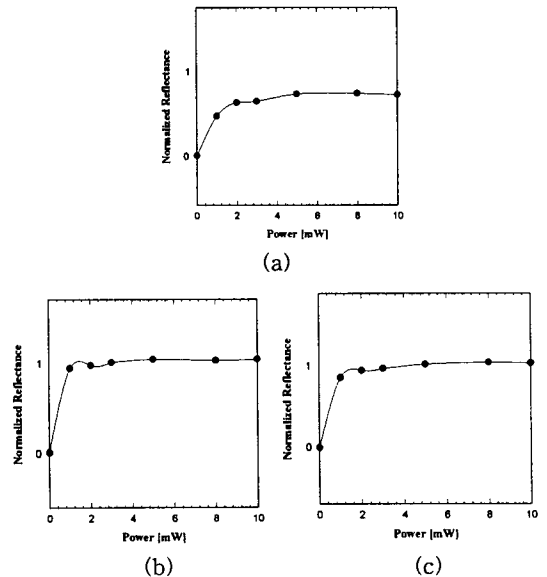


그림 7. 다이오드 레이저 출력 변화에 따른 각 박막의 반사도 변화

- (a) Te_{0.3}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.7} (b) Te_{0.5}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.5}
- (c) Te₁(Sb₈₅Ge₁₅)₉₉

Fig. 7. The reflectance changes of each film as a function of diode laser power

- (a) Te_{0.3}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.7} (b) Te_{0.5}(Sb₈₅Ge₁₅)_{99.5}
- (c) Te₁(Sb₈₅Ge₁₅)₉₉

따라서 $Te_{0.5}(Ge_{15}Sb_{85})_{99.5}$ 와 $Te_1(Ge_{15}Sb_{85})_{99}$ 박막을 실제 광기록에 응용시 낮은 레이저 세기를 이용하여 짧은 소거시간을 가질 것으로 기대된다.

SEM을 이용하여 레이저 조사에 의한 각 박막의 표면 상태를 사진 3에 나타내었다.

레이저 조사에 의한 박막들의 경우는 약 200nm ~ 1 μ m의 크기를 가지는 crystallite들이 생성되었으며 Te의 도핑량이 증가할수록 그 크기는 감소하는 경향을 보여주었다. 또한 이런 crystallite들은 밝게 보이는 부분은 주로 Sb-rich crystallite이고 약간 어둡게 보이는 부분은 Te-rich crystallite로 판명되었다.



사진 3. 레이저 조사에 의한 각 박막의 SEM 표면 분석 결과

(a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

Pic. 3. SEM analysis of each film about laser exposure

(a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

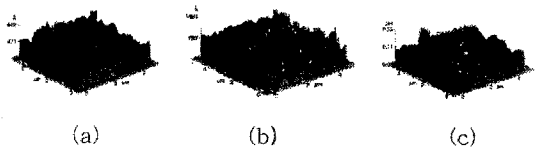


그림 8. 다이오드 레이저 조사에 의한 각 박막의 AFM 표면 분석 결과

(a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

Fig. 8. AFM analysis of annealed each film with diode laser exposure

(a) $Te_{0.3}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.7}$ (b) $Te_{0.5}(Sb_{85}Ge_{15})_{99.5}$
(c) $Te_1(Sb_{85}Ge_{15})_{99}$

또한 다이오드 레이저 세기를 8mW 그리고 조사 시간을 4ms로 했을 때 각 박막의 표면 구조를 AFM을 이용하여 관찰한 결과를 그림 8에 나타내었다. 열처리한 박막의 경우(그림 5)와 마찬가지로

표면의 거칠기가 증가함을 볼 수 있다. 이것 또한 레이저 조사에 의해 박막이 일부 용융 및 응고되어 나타나는 현상으로 생각된다. 하지만 다이오드 레이저를 조사한 박막이 열처리한 박막에 비해 표면의 요철이 더 작음을 알 수 있다.

5. 결 론

$Te_x(Sb_{85}Ge_{15})_{100-x}$ 상변화 광기록 박막에 대한 결정화 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 각 시료는 열처리에 의해 증착 직후 박막에 비하여 반사도는 더 증가함을 알 수 있었다.
2. Te을 0.3, 0.5, 그리고 1 at.%만큼 첨가시킨 경우 다이오드 레이저의 파장대인 7800Å 에서 비정질-결정질간 반사도 차(ΔR)는 각각 19, 30, 22%를 보여주었다.
3. SEM 분석과 AFM 분석을 통하여 반사도의 변화가 열처리에 의한 박막의 결정화에 기인한 것임을 확인하였으며 열처리와 다이오드 레이저 조사에 의해 각 박막의 표면 거칠기가 증가함을 관찰하였다.
4. 다이오드 레이저를 이용하여 각 박막의 반사도 변화를 측정된 결과 모든 박막은 레이저 출력과 조사시간에 비례하여 반사도가 증가하였다. 그리고 Te의 첨가량이 증가할수록 빠른 결정화 시간을 가지는 경향을 보여주었다.
5. SEM에서 관찰된 crystallite은 주로 Sb-rich crystallite이었으며 그 크기는 Te의 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 보여주었다.

제반의 실험 결과로 본 실험에 사용된 $Te_x(Sb_{85}Ge_{15})_{100-x}$ ($x=0.3, 0.5, 1at.\%$) 박막은 상변화형 광기록 매질로의 응용시 고대비도 및 빠른 소거 시간을 가지는 우수한 광기록 특성을 보여줄 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 광운대학교의 학술 연구 조성비에 의해 연구되었습.

참 고 문 헌

- [1] R.J. Gambino, MRS BULLETIN, p.20, 1990
- [2] M. Matsubara, H. Ohkawa, T. Yoshimaru, N. Yoshida and S. Koyahara, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.32, Part 1, No.11B, p.5234, 1993
- [3] M. Ojima, et. al., SPIE Proceedings 839,

- p.154, 1988
- [4] T. Matsushita, A. Suzuki, M. Okuda, J.C. Rhee and H. Natio, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.24, p.2504, 1985
- [5] S. Fujimory, S. Yagi, H. Yamazaki and N. Funakoshi, *J. Appl. Phys.*, Vol.64, p.1000, 1988
- [6] K. Uchino, K. Takada, T. Ohno, H. Yoshida and Y. Kobayashi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.32 Part1, No11B, p.5354, 1993
- [7] B.A.J. Jacobs and J.P.W.B. Duchateau, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol.36, Part1, No.1B, p.491, 1997
- [8] Y.J. Lee, H.B. Chung, et. al., 대한전기학회, 38권 2호 p.106, 1989
- [9] M.C. Morilla, C.N. Afonso and J. Solis, *Appl. Phys.*, A62, p.559, 1996
- [10] H. Mizuno, K. Takada and M. Horie, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.36, Part1, No.1B, p.514, 1997
- [11] T. Ohta, et al., *SPIE Proceedings* 1078, p.27, 1989
- [12] C.N. Afonso, J. Solis and F. Catalina, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.60(25), No.22, p.3123, 1992
- [13] D.J. Gravestien, *Appl. Opt.*, Vol.27, p.736, 1988