

광기록 매질로 이용되는 Te계 ART구조의 광학적 해석

논문
7-3-5

The Optical Analysis of Te-based ART Structure for the Optical Recording Media

이성준*, 박태성*, 이현용*, 정홍배*
(S.J. Lee, T.S. Park, H.Y. Lee, H.B. Chung)

Abstract

In this study, we discussed the optical property to find the optimal condition of Te-based antireflection trilayer(ART) structure for a high density optical recording. It was found that the optical property was improved by suggesting the environmental parameters satisfied the optimum condition. As the results, the optimized($\lambda=8.000\text{\AA}$) thickness of the recording layer is 27\AA , and the 1st and 2nd minimum ART conditions of dielectric layers are 1080\AA , 3820\AA , respectively. And the high SNR, the contrast ratio and the sensitivity are achieved by using the ART conditions.

Key Words(중요용어) : Optical recording(광기록), Ablation, Te-based film, ART(anti-reflection trilayer) structure(반사방지 삼중층 구조), 1st and 2nd minimum ART, Contrast Ratio(대비도)

1. 서론

최근 정보처리 시스템에서 음성, 화상 및 문서 정보 등의 정보량이 엄청난 속도로 증가하고 있어 이를 효과적으로 기록 저장하고 신속하게 처리할 수 있는 기록 매질의 개발이 시급한 실정이다. 이러한 시스템에서의 기록 메모리에 대한 관심은 특히 기록 메모리의 소형화와 대용량화 및 높은 신호 대 잡음비(SNR)를 실현하는 기록 매질에 있다.

이러한 배경에서 레이저를 이용한 광기술의 획기적인 발전에 힘입어 광정보 기록 저장분야는 높은 저장밀도와 저장능력, 그리고 빠른 처리속도(random access)등을 해결할 수 있는 가장 주목을 받고 있는 분야이다. 이러한 광기록 저장 매질로는 그 기능에 따라 이미 기록되어 있는 정보를 재생만 할 수 있는 재생 전용형(ROM)¹⁾과 사용자가 기억은 시킬 수 있으나 다시 지우고 기록할 수 없는 추가 기록형(WORM)²⁾, 그리고 정보를 반복 기록하고 소거 재생이 가능한 재기록형(Rewritable)형³⁾으로 나눌 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 추가 기록형(Write-Once Read Many) 기록 매질에 대

한 광기록 방식에 대하여 고찰해 보고자한다. 본 연구의 해석에 사용된 매질은 본인등이⁴⁾ 연구해 온 TeSeBi계 합금으로서 Te이 가지고 있는 낮은 용점, 높은 흡수계수 등의 장점이 대기 중에서 열화(degradation)을 일으키기 때문에 문제점을 보완하기 위해서 Se를 첨가하여 습기에서 안정된 박막을 얻었지만 다결정 상에서의 쪼개짐 현상이라는 문제점이 발생하여 Bi를 첨가함으로써 다결정상의 억제와 습기에서 안정된 박막을 얻을 수가 있었으며 hole formation에 매우 우수한 특성을 나타내었다.

광기록 방식의 구조는 크게 단일층 구조와 반사방지 구조인 이중층, 그리고 삼중층 구조로 나뉜다. 일반적으로 이중층 구조는 중간 정도의 흡수계수를 갖는 물질(예를 들면 dye계; $\sim 10^4$)을 기록매질로 이용할 때 사용하는 구조이며, 삼중층 구조는 Te계와 같이 흡수계수가 큰 ($10^5 \sim 10^6$)급속계 박막을 기록매질로 이용한다.^{5,6)} 반사방지 이론을 이용한 응용분야로는 광학 렌즈 시스템, 광학 필터 그리고 프로젝터 등에 이용되고 있으며⁷⁾ 특히 광기록 분야에서는 필수 불가결한 이론이다. 이러한 반사방지 구조는 간섭효과를 이용하여 광학적 효율을 높일 수 있다.

이러한 관점에 중심을 두고 본 연구에서는 TeSeBi의 3원계 박막을 기록 매질로 하고 광학적

* : 광운대학교 전자재료공학과
접수일자 : 1993년 11월 11일
심사완료 : 1994년 3월 17일

투과성이 우수한 SiO₂박막과 고반사도의 Al 반사막을 이용하여 장시간 기록 보존능력이 우수한 애블레이션(ablation) 광기록 방식을 도입한 반사방지 삼중층(antireflection trilayer : ART)구조의 광학적 특성을 해석하고 기존의 단일층(monolayer) 구조와 비교, 고찰함으로써 최적의 ART조건을 제시하고자 한다.

2. 광학적 특성 및 이론 해석

애블레이션 방식을 이용한 반사방지 삼중층 구조는 광학적으로 투과성이 우수한 유전체층과 고반사도의 금속박막을 사용한다. hole이 형성되지 않은 부분은 간섭조건을 만족시키게 되어 위상 상쇄(phase cancellation)가 일어남으로써 낮은 반사도를 나타내는 반면, 완전히 hole이 형성되었다고 가정하였을 때 hole이 형성된 부분은 반사방지 조건이 파괴되어 반사막으로 인한 높은 반사도 값을 나타나게 된다. 이 결과, 반사도 차이로 인한 높은 대비도와 SNR값을 갖게 된다. 그림 1은 애블레이션(ablation)광기록에 사용되는 단일층과 삼중층 구조에 대한 개략도이다.

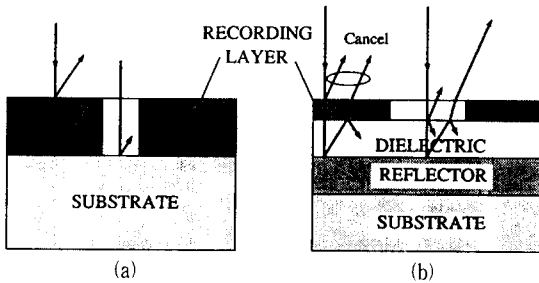


그림 1 광기록 구조의 단면도

- (a) 단일층 구조
- (b) 반사방지 삼중층 구조

Fig. 1 Cross section of the optical recording structure

- (a) monolayer structure
- (b) ART layer structure

그림 1(b)에서 나타낸 다중층 박막구조에 대한 레이저 빔의 수직 입사시의 반사계수와 투과계수를 추출해내기 위하여 컴퓨터 계산을 수행하였다. 이 때 사용되는 주된 이론은 Heavens등에 의해 제안된 matrix theory를 기초로 하였다.⁸⁾ 그림 1(b)의 구조를 보다 일반화시켜서 나타낸 그림 2는 다중층 간섭구조의 개략도이다. +와 -는 입사 방향과 반사 방향을 각각 나타낸 것이다.

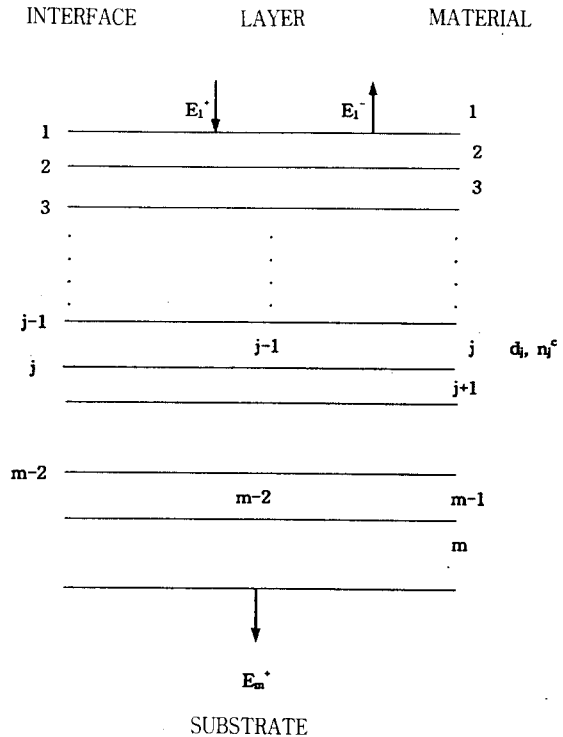


그림 2 다중층 간섭 구조의 개략도

Fig. 2 Schematic diagram of multilayer interference structure .

$$\left(\begin{array}{c} E_1^+ \\ E_1^- \end{array} \right) = \frac{1}{t_1 t_2 \dots t_j \dots t_{m-1}} \left(\begin{array}{c} 1 \ r_1 \\ r_1 \ 1 \end{array} \right) \prod_{j=2}^{m-1} \left(\begin{array}{cc} e^{i \delta_j} & r_j e^{i \delta_j} \\ r_j e^{i \delta_j} & e^{i \delta_j} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} E_m^* \\ 0 \end{array} \right) \quad (1)$$

여기서, $\delta_j = \frac{2\pi}{\lambda} n_j^c d_j$ 이며, E_1^+ , E_1^- 는 각각 첫 번째 층의 입사와 반사를, 그리고 E_m^* 는 투과된 전계의 세기를 나타내고, d_j 는 (j-1)번째 층의 두께이며, n_j^c 는 j번째 물질의 복소굴절율을 나타낸다. j와 (j+1)번째 사이의 경계면에서 Fresnel 반사계수와 투과계수는 각각

$$r_j = \frac{n_j^c - n_{j+1}^c}{n_j^c + n_{j+1}^c}, \quad t_j = \frac{2n_j}{n_j^c + n_{j+1}^c} \text{로 나타낼 수 있다.}$$

식(1)을 정리해 보면 다음과 같다.

$$\left(\begin{array}{c} E_1^+ \\ E_1^- \end{array} \right) = \left(\begin{array}{cc} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} E_m^* \\ 0 \end{array} \right) \quad (2)$$

여기서, 식(2)에서 마지막 행렬의 "0"은 반사가 되

지 않음을 의미한다. 반사도 R과 투과도 T는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R = \left| \frac{E_1^-}{E_1^+} \right|^2 = \left| \frac{a_{21}}{a_{11}} \right|^2 \quad (3)$$

$$T = \frac{n_m}{n_1} \left| \frac{E_m^+}{E_1^+} \right|^2 = \frac{n_m}{n_1} \left| \frac{1}{a_{11}} \right|^2 \quad (4)$$

그러므로 전체 흡수도 A는 $A=1-R-T$ 로 나타낼 수 있다.

이러한 관계식을 이용하여 그림 3은 단일층의 경우, $m=1$ 로 가정하여 반도체 레이저 파장($\lambda=8000\text{\AA}$)에서 계산된 반사도 R, 투과도 T, 그리고 흡수도 A를 이용하여 최적화된 두께 파라미터 선택을 나타낸 곡선으로 그림 3에서 최소 두께(d_{\min})를 결정할 경우, 투과도는 0에 가깝고 흡수도와 반사도가 비교적 큰 300\AA 부근의 두께를 선택해야 할 것이다.

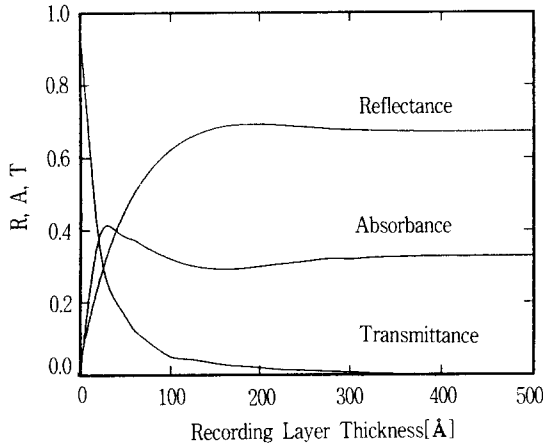


그림 3 TeSeBi 단일층의 기록층 두께의 결정 곡선($\lambda=8,000\text{\AA}$)

Fig. 3 The determination curves of the recording layer thickness for TeSeBi monolayer.

그림 4는 삼중층 기록 구조로서, 반도체 레이저 파장($\lambda=8000\text{\AA}$)에서 여러 가지 기록층 두께에 따른 반사율 변화를 나타낸 그림으로서 식(3)과 식(4)에서 $m=3$ 으로 가정한 경우, 반사율이 최소가 되는 유전체층의 최적 두께를 결정하였으며 이때, 기록층의 두께 d_R 를 각각 27\AA , 40\AA , 60\AA , 80\AA 으로 변화시켜, 유전체층의 d_D 가 각각 $1,080\text{\AA}$ (1st), $3,820\text{\AA}$ (2nd)일 때 반사도는 최소를 나타내며 삼중층의 경우 투과도가 10% 미만으로 나타나는 것을 감안하면 기록층의 두께 d_R 이 27\AA 일 때, 흡수도가

90%이상 되는 것을 알 수 있다.

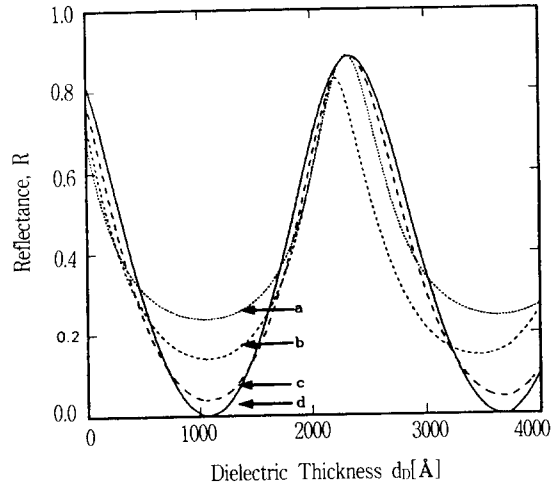


그림 4 기록층(TeSeBi) 두께에 따른 최적 유전체 두께의 결정 곡선
(a) 80\AA (b) 60\AA (c) 40\AA (d) 27\AA

Fig. 4 The determination curves of the optimal dielectric layer thickness for the recording layer(TeSeBi) thickness at $\lambda=8,000\text{\AA}$
(a) 80\AA (b) 60\AA (c) 40\AA (d) 27\AA

그림 5는 그림 4의 결과에 의해 결정된 유전체층에 따른 이상적인 기록층 두께를 계산한 그림이다. 그림 5에서 볼 때 $A=1-R-T$ 를 고려하면 투과도 T가 거의 일정하나 그림 3의 단일층 구조에서는 기록층의 두께가 50\AA 부근에서 투과도 T가 급격히 감소한다. 이는 단일층과 ART 구조의 차이에서 나타나는 현상으로 투과도 T가 감소함과 동시에 반사도 R이 다시 $d_R=50\text{\AA}$ 에서 초과하므로써 흡수도 A가 약간 감소하는 경향을 보이고 있어 전체적으로는 투과도 T가 거의 일정한 값을 유지하는 것으로 보인다. 이 그림에서 1st ART 조건과 2nd ART 조건을 거의 동시에 만족시키는 기록층의 두께는 27\AA 임을 알 수 있다.

그림 6은 기록전·후의 삼중층 구조에서 이상적인 반사방지 조건을 만족시켰을 때, 반사도와 파장과의 관계를 나타낸 그림이다. 먼저 기록전에는 다이오드 레이저 파장에서 반사방지 조건을 만족시켰으며, 기록시 초기 조건으로 기록층의 두께가 0이었다고 가정한다면 다이오드 레이저 파장 부근에서의 대비도(C.R)는 약 0.9정도의 높은 값을 얻을 수 있다.

에플레이션 광기록 방식에서의 감도(Sensitivity)

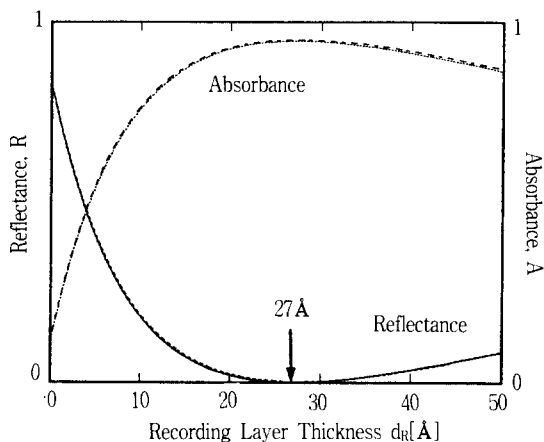


그림 5 $\lambda=8,000\text{\AA}$ 에서 유전층(SiO_2)두께 ($d_D=1,080\text{\AA}$ & $3,820\text{\AA}$)에 따른 최적 기록층 두께의 결정 곡선

Fig. 5 The determination curve of the optimum recording layer(TeSeBi) thickness for dielectric layer(SiO_2) thickness. ($d_D=1,080\text{\AA}$ & $3,820\text{\AA}$) at $\lambda=8,000\text{\AA}$

는 hole formation에 필요한 에너지 E와 관련되며, 이때 E는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$E \propto \frac{\text{melting에 소요되는 에너지}}{\eta_{opt}(\text{광학효율}) \eta_{the}(\text{열적효율})} \quad (5)$$

식 (5)에서 보면 감도(Sensitivity) 향상을 얻기 위해서는 열적 효율을 고려해야 하며, 열적 효율은 각 매질의 열적 상수들(열확산 계수, 열전도 계수, viscosity)에 의해 주로 결정되고, 구조적인 잇점이 열적인 특성을 고려하지 않을 경우 상쇄된다는 연구결과가 최근에 보고되고 있으며, 앞으로는 열적 특성까지 고려한 모델이 연구되어야 한다고 사료된다.

3. 결 론

이상과 같은 광학적 해석을 통해 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

다이오드 레이저 파장($\lambda=8000\text{\AA}$)에 대해 최적화된 ART구조의 두께 파라미터는 기록층(TeSeBi)이 27\AA 이며, 유전층(SiO_2)의 1st와 2nd반사 최소 두께는 각각 1080\AA , 3820\AA 이고, 반사층(Al)의 두께는 $500\sim 1000\text{\AA}$ ⁹⁾이었다.

이러한 두께를 가진 ART구조에서 광학적 효율은 약 0.8이상으로 향상시킬 수 있으며, 이상화된 단일층의 경우에서 대비도(Contrast Ratio)는 0.4미

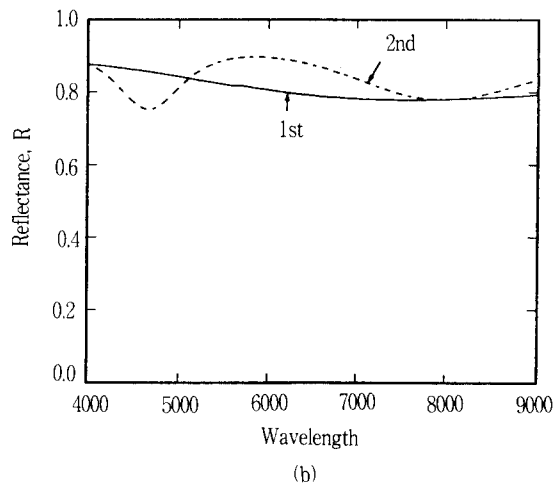
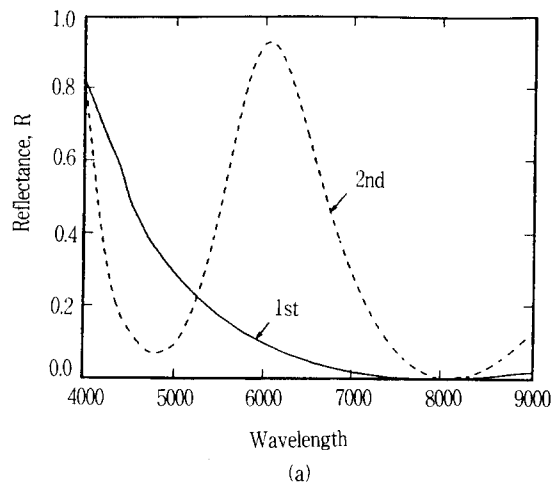


그림 6 $\lambda=8,000\text{\AA}$ 에서 최적 ART조건에 대한 기록 전 후의 과장변화에 따른 반사율 변화 (a) 기록 전 (b) 기록 후

Fig. 6 Reflection curves with variation on wavelength before and after recording at optimum ART conditions($\lambda=8,000\text{\AA}$)

만의 값을 갖는 반면에, 최적화시킨 ART구조에서는 0.8이상의 값을 얻을 수 있어 ART구조가 우수함을 알 수 있었다. 상대적으로 얇은 기록층의 사용이 실제 기록시 잡음으로 작용하는 테(rim)와 볼(ball)을 줄일 수 있으며 보호막의 형성이 쉬워질 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. R.J. Gambino "Optical Storage Disk Technol-

ogy", MRS BULLETIN, pp.20(1990)

2. J. Wrobel, "The Physics of Recording in Write-Once Optical Storage Materials", SPIE Proceedings, 420, pp.288(1983)
3. M. Ojima et al., "High Speed Overwritable Optical Disc", SPIE Proceedings, 899, pp.154 (1988)
4. H.B. Chung, Y.J. Lee, H.Y. Lee and J.S. Song, "The Degradation and Hole Formation of Te-Se Alloy Thin Films for the Optical Recording", Trans. KIEE, 38(2), pp.106(1989)
5. A.E. Bell and F.W. Spong, "High-Performance Te Trilayer for Optical Recording", Appl. Phys. Lett., 34(4), pp.275(1979)
6. H.B. Chung, Y.J. Lee, H.Y. Lee and B.H. Kim "The Optical Recording Properties of Te-based Alloy Thin Films with the Antireflection Trilayer", J. of KIEE, 3(1), pp.25(1990)
7. F.L. Pedrotti, "Introduction to Optics" 2nd ed., Prentice-Hall, pp.391(1993)
8. O.S. Heavens, "Optical Properties of Thin Solid Film", New York : Dover, 1955
9. M.S. Cohen, "Computer Modeling Study of Ablative Optical Recording", Appl. Phys. Lett., 36(12), pp.950, 1980

저자소개

이성준



1970년 1월 25일생. 1992년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 현재 동 대학원 전자재료공학과 석사과정 수료.

이현용



1964년 3월 14일생. 1987년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자재료공학과 박사과정 수료.

박태성



1964년 6월 19일생. 1987년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 1993년 11월 전자부품종합기술연구소 전임연구원. 1994년 광운대학교 전자재료공학과 대학원 박사 과정.

정홍배



1951년 1월 19일생. 1973년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1983년 미국 M.I.T. 객원교수. 현재 광운대학교 공대 전자재료공학과 교수.