

## 광기록매체용 Ge-Sb-Te 다층 박막의 광학적 특성 및 열전달 특성

김도형<sup>†</sup> · 김상준 · 김상열 · 안성혁

아주대학교 물리학과

Ⓣ 442-749 경기도 수원시 팔달구 원천동 산5번지

(2001년 5월 11일 받음, 2001년 7월 23일 수정본 받음)

다층 박막에서의 빛의 반사와 흡수 및 열전달 방정식을 수치해석적으로 풀어 광기록매체용 다층 박막의 광학적 특성과 열전달 특성을 알아보고 이 두 특성들을 모두 고려하여 광기록에 적합한 레이저의 출력 및 지속시간, 다층 박막 구조 상수를 제시하였다. 그 결과 레이저는 650 nm 파장을 기준으로 출력 18 mW, 지속 시간 60 ns가 적당하였으며 박막 구조 상수는 ZnS-SiO<sub>2</sub> 140 nm, Ge-Sb-Te 20 nm, ZnS-SiO<sub>2</sub> 20~30 nm, Al-alloy 100~150 nm가 적당하였다.

분류코드 : OM.020.

### I. 서 론

정보화 사회가 가속화 됨에 따라 정보의 양은 점차 많아지고 필연적으로 이를 저장할 수 있는 고용량 저장 매체의 필요성이 점점 증대되고 있다. 현재 널리 이용되고 있는 하드디스크도 이미 저장 용량이 100기가 바이트에 육박하는 제품들이 상용화 되었고 CD(혹은 DVD)의 저장 용량도 기존의 650 Mb에서 4.7 Gb 또는 15~20 Gb대로 늘어나고 있다. 특히 빛을 이용하는 CD(Compact Disc)나 DVD(Digital Versatile Disc)등의 광기록매체는 하드디스크에 비하여 개체의 탈착 및 휴대가 간편하고 수명이 길다는 점에서 차세대 저장 매체로 각광받고 있다. 광기록매체를 정보를 저장하는 방식에 따라 분류하면 단순히 재생만 가능한 방식(CD)과 일회만 기록이 가능한 방식(CD-R), 여러 번 읽고 쓸 수 있는 방식(CD-RW)으로 나눌 수 있다. CD의 경우에는 제품 출하시 이미 정보가 기록이 되어 있어 이를 지우거나 다시 기록하는 것이 불가능하고 CD-R의 경우에는 사용자가 일회에 한하여 정보를 기록할 수 있다. 이 경우 기록층은 주로 금(Au)등이 코팅된 고분자 물질을 사용하고 여기에 강한 레이저를 쏘아주어 기록층의 고분자 박막 물질을 녹임으로써 반사율의 차이를 이루어 기록을 하는 방식이다. CD-R은 기록이 비가역적인 과정으로 이루어지기 때문에 재기록이 불가능한 반면 CD-RW의 경우에는 사용자가 여러 번 기록을 할 수 있다는 장점이 있다. 기록은 주로 상변화형 광기록방식을 사용하는데 이것은 광기록층 물질의 상태에 따른 반사율의 차이를 이용하여 정보를 저장하는 방식<sup>[1]</sup>이다. 레이저를 다층 박막으로 구성된 매체에 쏘아 주어 기록층의 온도가 임계 온도까지 상승하면 기록층 물질이 녹기 시작하며 급격하게 다시 온도를 낮추면 비정질 상태가 되고 결정화 온도(Crystallization Temperature)와 녹는점(Melting point) 사이의 온도로 가열(annealing)하면 결정 상태가 된다. 광기록은 바로 이 두 상태의 굴절률의 차이를 이용하는 것이

다. 기록층에는 각각의 상(phase)들이 매우 안정하게 유지되는 Ge-Sb-Te 합금을 많이 사용한다.

이와 같이 기록층의 상전이는 매질의 온도가 좌우하므로 레이저의 조사(照射)에 의한 광기록매체에서의 열적 특성과 물성 변화를 살펴보는 것은 기록 매질의 선택이나 설계에 있어서 대단히 중요하다. 특히 광기록매체는 그 두께가 수십 나노미터 단위의 다층 박막 구조를 가지고 있으므로 온도 변화시 결정상(Crystalline Phase)과 비정질상(Amorphous Phase) 간의 상전이 과정 및 물성을 분석하는 시도는 이루어지고 있으나<sup>[2,3]</sup> 그 온도를 직접 측정하는 것은 매우 어렵기 때문에 전산 시뮬을 통하여 이를 확인하는 것이 필수적이다. 여기서는 먼저 행렬법(Matrix Method)을 이용하여 다층 박막에 조사(照射)된 레이저의 반사율과 투과율 및 흡수율을 구한 다음 전차분법(Forward-difference Method)을 이용하여 열방정식의 수치해석적인 해를 구하였다. 이를 이용하여 광기록매체용 다층 박막의 구조 상수를 변화시키며 온도 분포를 전산 시뮬한 후 최적의 다층 구조를 제시하였다.

### II. 다층 박막 구조에서의 빛의 흡수와 열의 전파

다층 박막 내에 레이저가 조사되었을 때 빛이 각 층에서 반사 및 투과, 흡수되는 양을 알기 위해서는 경계 조건들을 이용하여 각 경계면 상에서의 전기장을 구하여야 한다. 다층 박막 구조 내의 다중 반사를 고려한 반사 및 투과 또는 흡수되는 전기장은 일반적으로 층의 개수에 비례하여 기하급수적으로 복잡한 계산을 필요로 하지만 여기서는 많은 수의 방정식을 손쉽게 다룰 수 있는 행렬법(Matrix Method)을 이용하여 반사 및 투과 계수를 구하였다.

#### 2.1. 행렬법을 이용한 반사 및 투과 계수<sup>[4]</sup>

먼저 굴절률이 다른 두 층으로 구성된 매질의 경계면에서 s파의 전파를 생각해 보자(그림 1). 두 매질의 경계면에서 전기장과 자기장에 대한 경계 조건을 만족하여야 하므로

<sup>†</sup>E-mail: anselmus@ajou.ac.kr

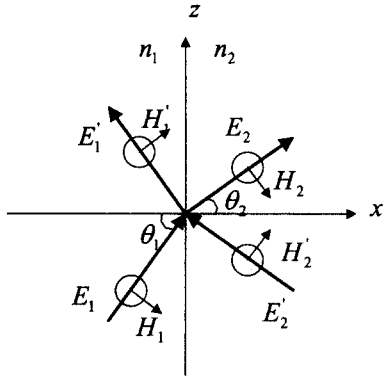


그림 1. 빛의 반사와 굴절.

$$E_{1s} + E_{1s}' = E_{2s} + E_{2s}' \quad (1)$$

$$\frac{n_1}{\mu_1}(E_{1s} - E_{1s}') \cos \theta_1 = \frac{n_2}{\mu_2}(E_{2s} - E_{2s}') \cos \theta_2 \quad (2)$$

을 얻을 수 있다. 우리가 다루는 다층 박막은 자성체 물질이 아니므로  $\mu_1 = \mu_2$ 이다. 따라서 (2)식을 다시 쓰면

$$n_1(E_{1s} - E_{1s}') \cos \theta_1 = n_2(E_{2s} - E_{2s}') \cos \theta_2 \quad (3)$$

이 되고 이제 (1)과 (3)을 행렬 형태로 표현하면

$$D_1 \begin{pmatrix} E_{1s} \\ E_{1s}' \end{pmatrix} = D_2 \begin{pmatrix} E_{2s} \\ E_{2s}' \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$D_i = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ n_i \cos \theta_i & -n_i \cos \theta_i \end{pmatrix}, \quad i=1, 2 \quad (5)$$

을 얻을 수 있다. 이를 s파의 동적 행렬(Dynamic Matrix)라고 하며 p파의 경우에도 경계조건을 이용하여 동일하게<sup>[4]</sup> 풀면

$$D_i = \begin{pmatrix} \cos \theta_i & \cos \theta_i \\ n_i & -n_i \end{pmatrix} \quad (6)$$

이 된다. 따라서 (4)식을 이용하여  $n_1$  매질에서의 전기장과  $n_2$  매질에서의 전기장의 관계를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{pmatrix} E_{1s} \\ E_{1s}' \end{pmatrix} = D_1^{-1} D_2 \begin{pmatrix} E_{2s} \\ E_{2s}' \end{pmatrix} \quad (7)$$

이제 논의를 확장시켜 다층 구조로 된 박막을 생각해 보면(그림 2)

$$\begin{pmatrix} A_l \\ B_l \end{pmatrix} = D_l^{-1} D_{l+1} P_{l+1} \begin{pmatrix} A_{l+1} \\ B_{l+1} \end{pmatrix}, \quad l=0, 1, \dots, N-1 \quad (8)$$

$$\begin{pmatrix} A_N \\ B_N \end{pmatrix} = D_N^{-1} D_S \begin{pmatrix} A_S' \\ B_S' \end{pmatrix} \quad (9)$$

이 된다. 여기에서 (8)식 우변의 전기장은 (7)식에서와는 달리 각 층에서의 박막의 두께  $d_l$ 만큼 진행한 후의 전기장이므로 전파 행렬(Propagation Matrix)  $P_l$ 이 추가되어야 하고 이 전파 행렬은 다음과 같이 주어진다.

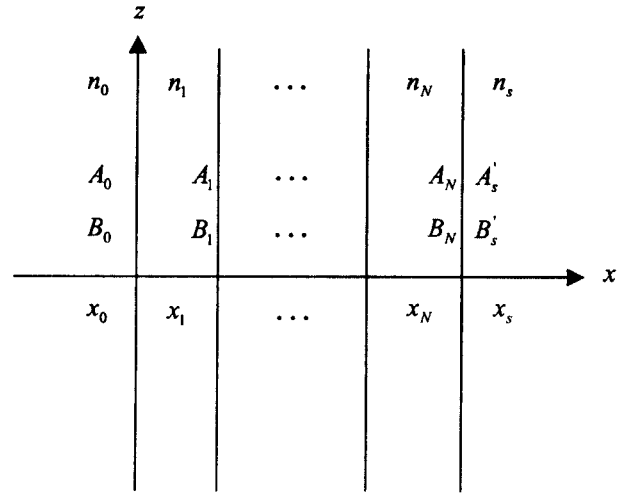


그림 2. 다층 구조에서의 반사와 굴절.

$$P_l = \begin{pmatrix} e^{i\phi_l} & 0 \\ 0 & e^{-i\phi_l} \end{pmatrix}, \quad \phi_l = k_{lx} d_l \quad (10)$$

따라서 (8), (9) 식을 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} A_0 \\ B_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_S' \\ B_S' \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{pmatrix} = D_0^{-1} \left[ \prod_{l=1}^N D_l P_l D_l^{-1} \right] D_S \quad (12)$$

여기서 이 다층 박막의 반사율과 투과율은 다음과 같다.

$$R = |r|^2 = \left| \frac{M_{21}}{M_{11}} \right|^2 \quad (13)$$

$$T = \frac{n_s \cos \theta_s}{n_0 \cos \theta_0} |t|^2 = \frac{n_s \cos \theta_s}{n_0 \cos \theta_0} \left| \frac{1}{M_{11}} \right|^2 \quad (14)$$

따라서 흡수된 에너지는

$$A = 1 - R - T \quad (15)$$

이 된다.

### 2.2. 열확산 방정식

위에서 구한 빛에너지는 광기록층인 Ge-Sb-Te 합금 박막에서 흡수되어 열에너지로 변환되며 열방정식의 열원이 된다. 이때 열원 방정식과 열의 이동(Thermal Dispersion)을 기술하는 열확산 방정식<sup>[5]</sup>은 다음과 같다.

$$g(\vec{r}, t) = \frac{P \times A}{V} \quad (16)$$

$$\nabla^2 T(\vec{r}, t) + \frac{1}{k} g(\vec{r}, t) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(\vec{r}, t)}{\partial t} \quad (17)$$

$g(\vec{r}, t)$ 는 단위 시간 단위 부피당 열에너지로 표현되는 값으로  $P$ 는 광기록매체의 표면에 도달하는 레이저의 출력,  $A$ 는

식 (15)에서 구한 다층 박막의 흡수율,  $V$ 는 레이저가 조사되어 발열하는 기록층의 부피이며 레이저의 조사에 의하여 다층 박막 내에서 생성되는 열원이 된다. 열확산 방정식에서  $k$ 는 열전도도(Thermal Conductivity, J/cm-K-s)이며  $\alpha = k/C_V$  (열확산도, Thermal Diffusivity),  $C_V$ 는 정적 비열(Specific Heat, J/cm<sup>3</sup>·K)이다. 식 (17)의 경계 조건은 다음과 같다.

$$T(x = \pm \infty, y, z, t) = 20 \tag{17a}$$

$$T(x, y = \pm \infty, z, t) = 20 \tag{17b}$$

$$T(x, y, z = \pm \infty, t) = 20 \tag{17c}$$

온도는 상온( $T = 20^\circ\text{C}$ )을 기준으로 하였으며  $\vec{r}, t \equiv (x, y, z, t)$ 이다. (17)식을 풀기 위하여  $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t \rightarrow 0$  일 때 일차 미분항과 이차 미분항을 전개를 하면

$$\frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial x^2} \approx \frac{T(x + \Delta x, y, z, t) - 2T(x, y, z, t - \Delta t) + T(x - \Delta x, y, z, t)}{\Delta x^2} \tag{18}$$

$$\frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial t} \approx \frac{T(x, y, z, t + \Delta t) - T(x, y, z, t - \Delta t)}{2\Delta t} \tag{19}$$

이 되며  $y, z$ 에 대하여도 동일하게 표현이 된다. (18), (19)식을 (17)식에 대입하여  $T(\vec{r}, t + \Delta t)$ 에 관하여 정리하면 열확산 방정식의 수치 해를 구할 수 있다. 다층 박막에서의 열방정식을 푸는 방법은 푸리에 변환된 온도를 이용하여 구하는 등<sup>[6]</sup>의 여러 가지 방법<sup>[6-9]</sup>이 존재하나 본 논문에서는 코딩이 간편한 전차분법(Forward difference method)을 이용하였으며 경계면에서의 열저항(Boundary Thermal Resistance)은 고려하지 않았다.

### III. 시능 조건 및 디스크 구조

#### 3.1. 정적 근사

일반적으로 사용되는 광기록매체는 기록과 재생시에 매체가 일정한 속력으로 회전을 하지만 본 논문에서는 매체가 회전을 하지 않는다는 정적 근사(Static Approximation)를 하였다. 이는 실제 기록이 이루어질 때 매체는 조사된 레이저의 빔 폭의 1/2정도의 거리밖에 회전을 하지 않으므로 매체의 상당 부분이 레이저 광에 노출되어 있음을 생각할 때 적절한 근사임을 알 수 있다.

#### 3.2. 디스크 구조

광기록에 적합한 다층 박막을 설계하기 위해서는 물성 결정 요인과 구조 결정 요인을 모두 고려하여야 한다. 먼저 물성 결정 요인을 살펴보면 기록층은 온도에 따라 상변화가 자유롭게 일어나야 하며 온도를 제외한 환경 변화에는 상변화가 일어나지 않고 안정적인 상태를 유지하여야 한다. 상변화에 걸리는 시간은 빠른 정보의 기록을 위해서 짧을수록 좋으며 열이 상변화에 직접 영향을 주기 때문에 기록시 계의 온도를 높이는 방법보다는 기록층 자체에서 레이저를 흡수하여 바로 온도 상승이 일어날 수 있는 물질이 적합하다. 따라서 기록층의

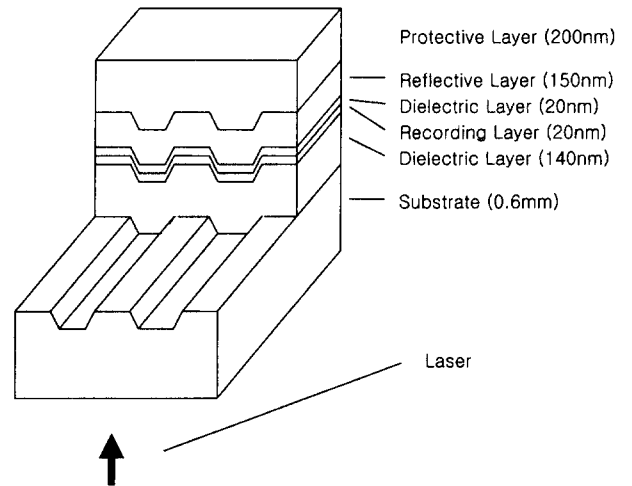


그림 3. 광기록층인 Ge-Sb-Te 합금을 포함한 다층 박막이 PC 기층위에 Land/Groove 구조에 따라 입혀져 있는 모습

굴절률 허수 부분이 큰 물질일수록 유리하고 이러한 조건을 만족하는 대표적인 물질이 Ge-Sb-Te 합금<sup>[10,11]</sup>이다. 한편 기록이 600~800°C 정도에서 일어나는 점을 감안할 때 기록층 상하에 있는 물질은 열에 강한 물질이어야 하며 이 물질이 자체적으로 레이저를 흡수하여 온도 상승이 일어나면 좋지 않으므로 복소 굴절률의 허수부는 0이 되는 것이 바람직하다. 본 논문에서 사용한 물질은 ZnS-SiO<sub>2</sub>이다.

다음 구조 결정 요인에 관하여 살펴보자. 기록층을 싸고 있는 유전층 중 하층부는 기층 0.6 mm 두께의 고분자(Poly-Carbonate, PC)층과 맞물려 있으므로 기록층에서 발생한 열이 다량으로 전달되면 PC층이 녹게 되며 이를 방지하기 위해서는 하층부 유전층이 충분히 두꺼워 단열층의 작용을 하여야 한다. 반면 상층부는 그 위에 있는 금속층을 통해 열이 빠져 나갈 수 있어야 하므로 두께가 얇아야 한다. 기록 매체의 트랙간 구조는 Land/Groove(L/G) 구조를 사용하였는데 트랙간 굴곡이 있을 경우가 그렇지 않은 경우에 비하여 고밀도로 저장할 수 있으며<sup>[12]</sup> cross-talk 또한 감소한다.<sup>[13]</sup>

이러한 개념들을 바탕으로 본 연구에서는 PC 기판 0.6 mm 위에 ZnS-SiO<sub>2</sub> 140 nm, Ge-Sb-Te 20 nm, ZnS-SiO<sub>2</sub> 20 nm를 올린 다층 구조(그림 3)를 기본 바탕으로 Ge-Sb-Te 층은 10~40 nm, 하층부(PC기판 쪽이 상층부) ZnS-SiO<sub>2</sub>층은 10~40 nm로 변화시켜가며 광학적 특성 및 온도 변화를 관찰하여 최적 두께를 찾았다. 레이저는 파장 650 nm, 출력 18 mW, 조사 시간 60 ns, 반지름 0.5 μm의 초점 크기(spot size)를 가지는 반도체 다이오드 레이저를 상정하였으며 조사 면적에서의 세기 분포는 일정하다고 근사하였다.

### IV. 전산 시능 결과 및 토의

#### 4.1. 각 층의 두께에 따른 광학적 특성

위에서도 언급하였듯이 기록된 정보의 재생은 결정상과 비결정 상간의 반사율의 차이에 의존하므로 반사율의 차이가 적게 되면 재생시 어려움이 증가하게 된다. 그림 4는 상층부 유

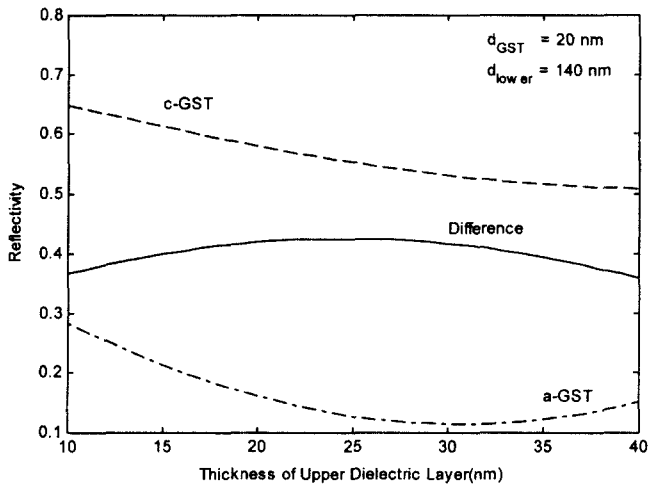


그림 4. 상층부 유전층의 두께에 따른 반사율 및 그 차이.

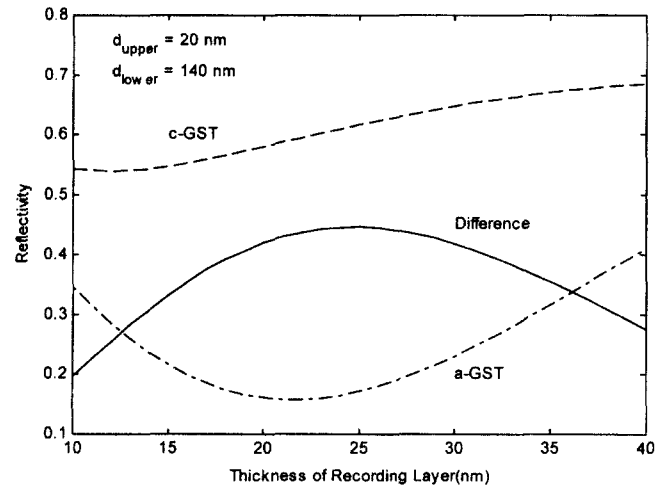


그림 6. 기록층의 두께에 따른 반사율 및 그 차이.

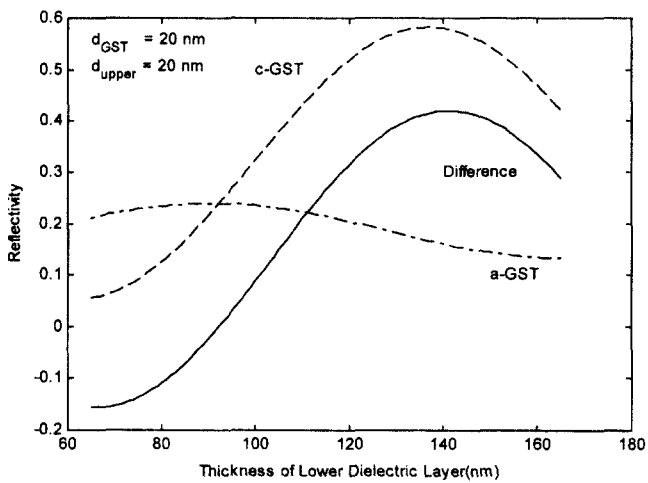


그림 5. 하층부 유전층의 두께에 따른 반사율 및 그 차이.

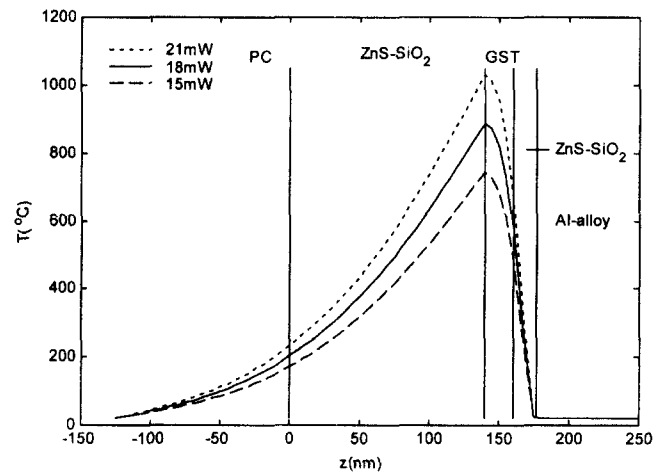


그림 7. 레이저의 출력에 따른 공간상 온도 분포, 레이저를 비추는 시간은 150 ns로 하였다.

전층의 두께에 따른 결정상(c-GST)과 비정질 상(a-GST)간의 반사율 및 그 차이를 나타낸 것인데 10~40 nm 범위에서 별다른 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 상층부 유전층의 두께는 광학적 특성보다 아래에서 기술할 열적 특성을 고려하여 결정하여야 한다. 그림 5는 하층부 유전층의 두께에 따른 반사율의 차이를 나타낸 것인데 140 nm 부근에서 결정상과 비정질상 간의 반사율의 차이가 가장 커진다. 유전층의 두께가 100 nm 이하로 내려가면 반사율의 차이가 아예 없어져 기록매체로서 사용이 불가능하게 된다. 그림 6은 기록층의 두께에 따른 반사율을 그린 것이며 이 경우 역시 반사율의 차이를 고려하면 25 nm 전후에서 기록층의 두께가 결정되어야 함을 알 수 있다.

#### 4.2. 레이저 출력에 따른 온도 변화

일반적으로 레이저의 공동(Cavity)으로부터 나온 빛은 렌즈나 광분할기와 같은 픽업계를 구성하는 광학 소자들의 표면에서의 반사, 산란 등으로 인하여 많은 양이 손실된다. 여기에서 레이저의 출력은 이러한 손실들을 모두 고려하여 실제 기록용

다층 박막 표면에 도달하는 에너지 양을 가리키는 것으로 한다. 먼저 출력에 따른 기록층 중심부의 온도 변화를 살펴보자. 그림 7은 150 ns의 지속 시간을 가지는 파장 650 nm, 반경 0.5 μm의 레이저가 조사되었을 때 150 ns 후의 공간에 따른 온도 분포를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 Ge-Sb-Te 박막층 내의 최고 온도는 조사되는 레이저의 출력에 대략 비례하며 기록에 적당한 온도인 800°C 정도를 얻기 위해서는 지속 시간 60 ns를 기준으로 출력 18 mW 정도의 레이저가 필요하다는 것을 알 수 있다.

#### 4.3. 레이저의 지속 시간(Duration Time)에 따른 온도의 변화

출력 18 mW의 레이저를 쏘아주며 지속 시간에 따른 기록층 중심부의 온도 변화를 살펴본 그림 8에서는 대략 40 ns까지는 온도가 급격하게 상승하다가 50 ns 정도의 시간 이후에는 거의 열평형 상태에 도달하여 레이저를 계속 쏘아 주어도 온도 상승이 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 더구나 그림 9를 통하여 오랜 시간 레이저를 조사하였을 때 기록층에서보다

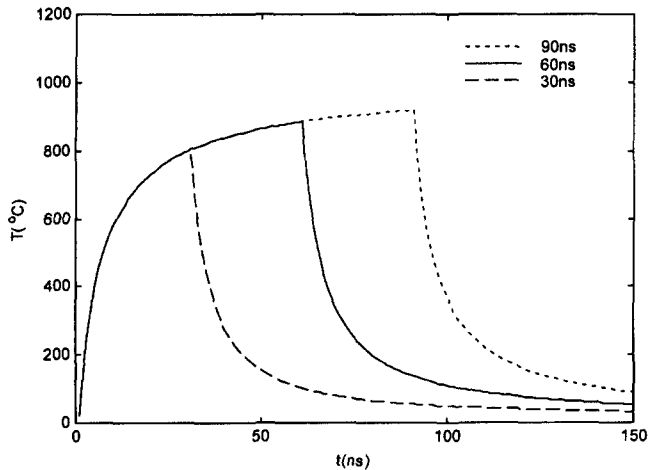


그림 8. 시간에 따른 광기록층의 온도 변화. 레이저 출력은 18 mW, 광기록층의 두께와 상층부 유전층의 두께는 모두 20 nm로 하였다.

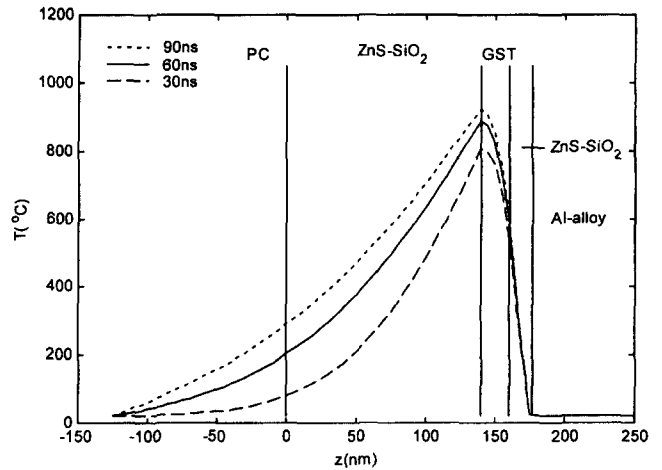


그림 9. 레이저를 비추는 시간에 따른 기록층 중심부의 온도 변화. 레이저 출력 18 mW, 광기록층의 두께와 상층부 유전층의 두께는 모두 20 nm로 하였다.

보호층(PC층)에서의 온도 상승폭이 더 큰 것을 볼 수 있다. 기록층의 최고 온도, 즉 포화 온도는 기록층인 Ge-Sb-Te 박막의 두께보다는 열전도층인 상층부 ZnS-SiO<sub>2</sub>의 두께에 예민하게 변하며 대략 반비례하는 경향을 보인다. 포화 온도에 도달하는 레이저의 지속 시간은 상층부 ZnS-SiO<sub>2</sub>의 두께가 20 nm 일 때에는 60 ns 정도로 파악되었다. 기록층에서의 온도 상승은 레이저의 조사 시간보다는 레이저의 출력과 아래에서 보다 자세히 언급할 열전도층인 상층부 ZnS-SiO<sub>2</sub>의 두께에 의존한다.

4.4. 각 층의 두께에 따른 온도 변화

그림 9를 다시 살펴보면 기록층(Ge-Sb-Te)을 기준으로 PC 층 방향보다 반사층(Al-alloy) 방향의 온도 기울기가 훨씬 급격하다. 이는 금속 물질인 반사층의 열전도도가 PC에 비하여 매우 크기 때문에(표 1 참조) 대부분의 열이 금속 물질인 반사층 쪽으로 빠져나가는 것을 반영한다. 또한 반사층 부분을 좀더 자세히 살펴보면 수 nm 정도의 두께에서 열이 모두 빠져나감을 볼 수 있다. 따라서 열적 요인만을 고려할 때 반사층의 두께는 그다지 중요하지 않다. 하층부 유전체(ZnS-SiO<sub>2</sub>)의 두께 변화에 따르는 기록층 주변의 온도 변화를 보면 이 층의 두께가 140 nm일 때 두께 변화에 대해서 가장 안정적이며(그림 10) 이 층의 두께가 너무 얇으면 PC층의 온도가 상승하여 PC층이 녹게 될 뿐만 아니라 광학적 특성 분석에서

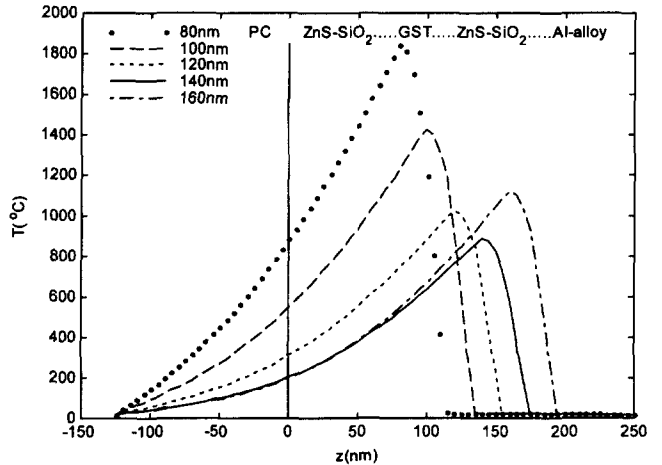


그림 10. 하층부 ZnS-SiO<sub>2</sub>의 두께에 따른 기록층 중심부 및 유전층들의 온도 변화. 레이저 출력은 18 mW, 조사 시간은 60 ns로 하였다.

살펴본 바와 같이 결정상과 비정질 상간의 반사율의 차이가 없어져 에러율이 증가하므로 140 nm 정도가 적당한 두께인 것으로 판단되었다. 결과적으로 광기록매체의 온도에 영향을 끼치는 핵심 요소는 레이저의 출력 및 상층부 유전체(ZnS-SiO<sub>2</sub>)의 두께이다. 특히 상층부 유전체의 두께를 변화시키면서 레이저를 60 ns동안 쏘아 주었을 때 공간상의 온도 분포를 살펴

표 1. 물리 상수<sup>[14,15]</sup>

물 질	열적 상수			광학 상수 ( $\lambda = 650 \text{ nm}$ )	
	열전도도, $k$ (J/cm·K·s)	비열, $C_v$ (J/cm <sup>3</sup> ·K)	열확산도, $\alpha$ (cm <sup>2</sup> /s)	$n$	$k$
PC	0.0023	1.8	0.0013	1.597	0
ZnS-SiO <sub>2</sub> (8:2)	0.0058	4.4	0.0013	2.161	0
a-Ge <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> Te <sub>5</sub>	0.0015	2.0	0.0008	4.059	2.218
c-Ge <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> Te <sub>5</sub>	0.0032	2.0	0.0016	3.466	4.252
Al-Alloy	0.21	2.7	0.0778	1.373	7.618

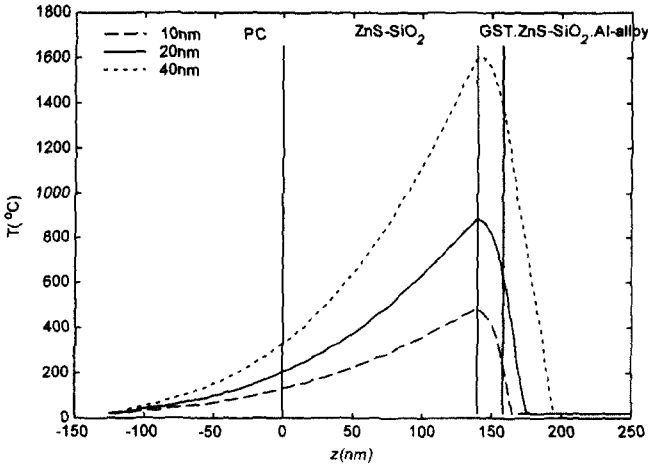


그림 11. 상층부 ZnS-SiO<sub>2</sub>의 두께에 따른 기록층 중심부 및 유전층들의 온도 변화. 레이저 출력은 18 mW, 조사 시간은 60 ns로 하였다.

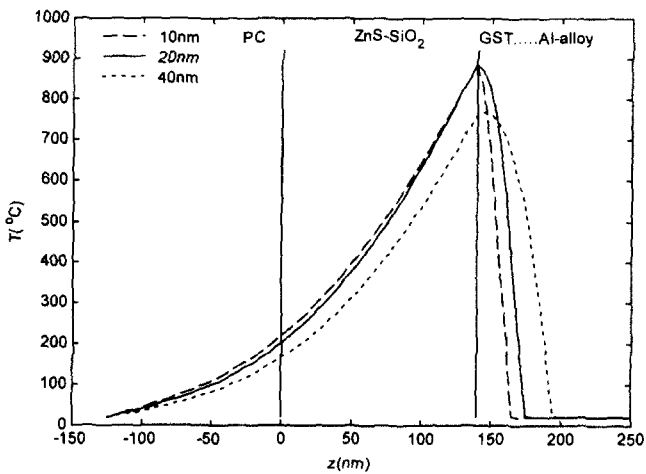


그림 12. Ge-Sb-Te 층의 두께에 따른 기록층 중심부 및 유전층들의 온도 변화.

본 그림 11에서 알 수 있듯이 상부 유전층이 가장 핵심적인 영향을 끼치고 있다. 기록층 상부의 유전층은 두께가 얇을 경우 열전도층의 역할이 두드러지고 두께가 두꺼울 경우 단일층의 역할이 두드러지므로 이 층이 두꺼울수록 기록층의 온도가 높아 올라가는 것을 알 수 있다. 그러나 이 층이 너무 두꺼우면 기록층 뿐만 아니라 주변 PC층의 온도 역시 상승하여 PC층이 녹을 수 있으므로 이를 막기 위하여 다시 하층부의 유전층의 두께를 증가시켜야 하는 부담이 따른다. 그림에서 확인할 수 있듯이 상부 유전층의 두께로는 20~30 nm 정도가 적당하다. 한편 그림 12는 기록층의 두께에 따른 온도 변화를 나타낸 것으로서 기록층의 두께가 얇을수록 열적 특성은 향상되는 것이 보이지만 기록층의 두께가 얇아지면 그림 6에서와 같이 광학적 특성은 나빠지게 되어 재생시 발생하는 에러가 증가하게 된다. 따라서 광학적 특성과 열적 특성을 모두 고려하여 기록층의 두께를 결정하게 되며 본 연구에서는 대략 20 nm 정도가 적당한 것으로 분석되었다.

## V. 결 론

광기록매체용 다층 박막의 광학적 특성과 열적 특성에 관하여 살펴보고 광기록에 적합한 다층 박막의 최적 구조 상수를 찾아 내었다. 기록시에 사용되는 레이저의 조사 시간과 출력은 기록층이 수 내지 수십 나노초 내에 상변화가 일어날 수 있는 800도 정도까지 온도를 높여야 하므로 60 ns, 18 mW 정도가 적당하다. 광기록용 다층 박막에서 각 층의 두께를 결정할 때에는 정보의 기록은 온도 변화에 의하여 이루어지고 재생은 결정상과 비정질상의 반사율의 차이에 의하여 이루어지므로 광학적 특성과 열적 특성을 모두 고려하였다. 기록층에서 발생한 열량은 주로 다층 박막의 상층부로 빠져 나가므로 하층부 유전체의 두께는 PC층을 보호할 수 있는 두께 이상의 범위에서 광학적인 특성을 고려하여 결정하였다. 상층부 유전층의 두께는 결정상과 비정질상의 반사율의 차이에는 별 영향을 미치지 못하는 반면 이 층의 두께에 따라 기록층의 온도가 민감하게 변하므로 광학적 특성 보다는 열적 특성을 고려하여 결정하였다. 한편 기록층의 두께는 열적 특성과 광학적 특성을 함께 고려하여 결정하였다. 이로써 광기록에 적합한 다층 박막의 구조 상수는 ZnS-SiO<sub>2</sub> 140 nm, Ge-Sb-Te 20 nm, ZnS-SiO<sub>2</sub> 20~30 nm, Al-alloy 100~150 nm임을 알 수 있었다.

## 감사의 글

이 논문은 1999년 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 연구되었음(KRF-99-015-DI0044).

## 참고문헌

- [1] C. Peng, L. Cheng, and M. Mansuripur, "Experimental and theoretical investigations of laser-induced crystallization and amorphization in phase-change optical recording media," *J. Appl. Phys.*, vol. 82, no. 9, pp. 4183-4191, 1997.
- [2] 김상열, 타원법(아주대학교 출판부, 수원, 2000) p. 282.
- [3] 김상준, 광기록매체인 Ge-Sb-Te의 복소굴절률과 상변화연구(아주대학교, 석사학위논문, 1998).
- [4] P. Yeh, *Optical Waves in Layered Media* (John Wiley & Sons, Inc., USA, 1988), Chapter 5.
- [5] J. J. Ho, T. C. Chong, L. P. Shi, Z. J. Liu, and J. C. Lee, "Thermal modeling of grooved phase change optical recording disk," *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 38, pp. 1604-1607, 1999.
- [6] W. A. McGahan and K. D. Cole, "Solutions of the heat conduction equation in multilayers for photothermal deflection experiments," *J. Appl. Phys.*, vol. 72, pp. 1362-1373, 1992.
- [7] M. Mansuripur, G. A. N. Connell, and J. W. Goodman, "Laser-induced local heating of multilayers," *Appl. Opt.*, vol. 21, pp. 1106-1114, 1982.
- [8] R. J. Anderson, "A method to calculate the laser heating of layered structures," *J. Appl. Phys.*, vol. 66, no. 4, pp. 6639-6645, 1988.

- [9] A. H. M. Holtslag, "Calculations on temperature profiles in optical recording," *J. Appl. Phys.*, vol. 66, no. 4, pp. 1530-1543, 1989.
- [10] T. Ide, M. Suzuki, and M. Okada, "Spectroscopic ellipsometry studies on optical constants of  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  used for phase change optical disks," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 34, part 2, no. 48, p. L529, 1995.
- [11] M. Miyamoto, K. Ando, Y. Anazi, A. Hirotsune, and J. Ushiyama, "4.7-GB DVD-RAM," in *Technical Digest of Optical Data Storage*, Aspen, Colorado, USA, pp. 142-144, 1998.
- [12] N. Miyagawa, Y. Gotoh, E. Ohno, K. Nishiuchi, and N. Akahira, "Land and groove recording for high track density on phase-change optical disks," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 32, pp. 5324-5328, 1993.
- [13] C. Peng and M. Mansuripur, "Thermal cross-track cross talk in phase-change optical disk data storage," *J. Appl. Phys.*, vol. 88, pp. 1214-1220, 2000.
- [14] C. Peng and M. Mansuripur, "Studies of the crystallization process in thin films of  $\text{GeSbTe}$ ," private communication, in *ISOM/ODS 99' Technical Digest*, Hawaii, Proc. USA, SPIE, vol. 3864, pp. 203-205, 1999.
- [15] T. Hurst and P. Khulbe, "In-Situ identification of material property values for phase-change optical recording," in *ISOM/ODS 99' Technical Digest*, Hawaii, USA, Proc. SPIE, vol. 3864, pp. 220-222, 1999.

### Optical and thermal diffusion properties of Ge-Sb-Te multi-layered thin films for optical recording media

Dohyung Kim<sup>†</sup>, Sang Jun Kim, Sang Youl Kim, and Sung-Hyuck An

*Department of Physics, Ajou University San5, Suwon 442-749, KOREA*

<sup>†</sup>*E-mail: anselmus@ajou.ac.kr*

(Received May 11, 2001 ; revised manuscript received July 23, 2001)

We studied thermal diffusion properties of multi-layered Ge-Sb-Te alloy thin films for optical recording media by solving the thermal equation. Based on the numerical analysis of optical energy distribution and absorption inside multi-layered films including temperature gradient and heat transfer simultaneously, we proposed the optimum parameters of the input laser power and the multi-layer structure as follow. i) Input laser power is 18 mW, ii) laser exposure time is 60 ns, iii) the thicknesses of the lower and the upper  $\text{ZnS-SiO}_2$  are 140 nm and 20~30 nm respectively, and iv) thickness of Ge-Sb-Te recording film is 20 nm.

*Classification code* : OM.020.