

광기록매체에서의 열전달 해석

이종대 · 신치범*

충북대학교 공과대학 화학공학과

*아주대학교 공과대학 화학공학과

(1992년 7월 15일 접수, 1993년 5월 13일 채택)

An Analysis of Heat Transfer in Optical Recording Media

Jong-Dae Lee and Chee Burm Shin*

Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea

*Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Ajou University, Suwon 441-749, Korea

(Received 15 July 1992; accepted 13 May 1993)

요 약

가우스분포를 갖는 레이저광이 조사될 때, 광기록매체에서의 열적 특성을 유한요소법을 사용하여 연구하였다. 레이저광이 조사되는 정지된 기록매체에서, power가 증가할수록 또는 필름층의 두께가 감소할수록 기록매체내의 최고온도는 증가했으며, 레이저가 조사되어 100 ns 지난 후에 열적 평형상태에 도달함을 알 수 있었다. 또한 일정 선형속도로 움직이는 기록매체에서 눈물방울 형상의 pit가 형성될 수 있음을 예측하였다.

Abstract—Thermal characteristics of optical recording media were investigated using the finite element method when a laser beam with a Gaussian distribution was incident on it. For a stationary media, it was found that the maximum temperature increased with increasing laser power and decreasing film thickness. Thermal equilibrium state was reached in 100 ns after the laser was turned on. In addition, in the recording media moving with a constant linear velocity, it was possible to predict the formation of teardrop-shaped pit.

1. 서 론

기록매체의 변화는 이집트 시대의 파피루스 종이로 부터 책, 필름, 자기 디스크 등 보다 편리하게, 더 많은 정보를 저장할 수 있게 변화해 왔다. 1960년대 초 레이저가 개발된 이래 레이저의 연구와 개발은 급속한 발전을 이루었으며, 오늘날 레이저의 공업적 응용은 각 방면에 걸쳐 광범위하게 이루어지고 있다. 특히 레이저광을 재료표면에 집속시켜 미소부분에 물리적 화학적 변화를 유발하여 정보를 기록하거나 재료의 물리 화학적 변화를 빛을 이용하여 검출해 내는 것은 광기록의 기본적인 개념이며 그 이후 반도체 레이저까지 레이저의 발

전에 따라 광기록에서의 레이저의 응용이 확대되고 있다.

1966년도에 금속 박막 필름에 레이저 광을 사용하여 열적으로 정보를 기록하기 시작한 이후에 1968년 Chen 등[1]이 광자기 기록매체인 MnBi 필름에 최초로 정보를 기록하였으며, 1971년 Maydan[2]은 레이저를 열원으로 이용하여 금속필름에 작은 구멍을 만듦으로써 추가기록형(write-once)의 시초를 이루었다. 광기록매체는 기능별로 재생전용형, 추가기록형, 소거 및 추가기록형 등으로 분류되며 이 중 최초로 상품화된 재생전용형은 1979년 optical video disk인 상품명 laser vision과 1982년 digital audio disk인 상품명 compact disk가 각각 시판

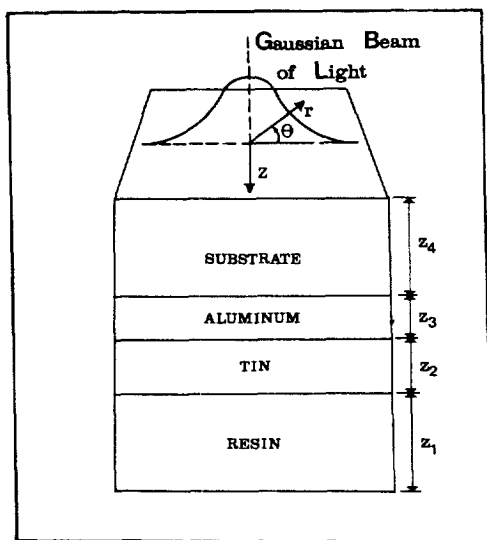
되어 생산규모가 급증하고 있다. 재생전용형의 약점을 극복하여 사용자가 한번 쓸 수 있는 추가기록형은 레이저 열을 이용하여 기록매체에 천공형성, 국부융기, 형상변화(textured, island structure), 상변화 등의 물리적 변화를 만들어 정보를 기록한다[3, 4].

소거 및 추가기록형의 광기록방식에는 광자기 기억 방식, 상전이형, 유기물 색소를 이용하는 방식 등 세 가지 방식이 있는데 유기물 색소를 이용하는 방식은 기록층의 가격이나 내식성에 장점이 있으나 반복 기록성이 나빠[5] 아직 연구단계에 있다. 현재 실용화 단계에 들어선 광자기 기록방식은 1957년에 수직 자기 이방성과 자기 광학 효과가 높은 MnBi계를 이용한 고밀도 기록매체 개발에 연구[1, 6]된 바 있으나 상 안정성과 잡음 등의 문제로 인하여 중단되었다가 1976년 IBM 연구소의 Choudhari 등[7]에 의해 희토류 천이금속계 합금재료가 발견된 후 광자기 기록특성과 자기 광학 효과에 대한 연구가 재개되어 실용 가능한 비정질 희토류 천이금속계 재료에 대한 연구가 진행되었다[8-12]. 상 전이형은 광 반사율변화를 수반하는 비정질과 결정질간의 상변화를 신호저장의 수단으로 사용하는 방식이다. 초기에는 저융점의 원소들을 대상으로 연구[13]가 진행되다가 비정질 상태를 상온에서 안정하게 하는데 주안점을 두어 As, Ge 등의 결정화 지연원소를 첨가한 기록층에 대한 연구가 진행되고 있다[14, 15].

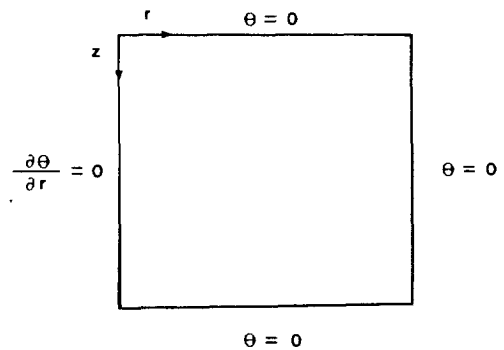
광기록매체에서 정확한 기록특성은 주로 레이저광 에너지의 흡수로 인한 기록매질의 열적양상에 의존한다.

기록층으로 비정질 희토류 천이금속재료를 이용하는 광자기 기록매체에서 Bhattachayya와 Cendes[16]는 기록층에서 레이저광 에너지가 Beer-Lambert 법칙에 따라 흡수된다고 보고 유한요소법을 사용하여 온도분포를 계산하였으며, Mansuripur 등[8]은 5층 구조에서 Maxwell 방정식으로부터 빛에너지 유속을 구하고, ADI(Alternating Direction Implicit) 유한차분법을 적용하여 열전달 해석을 하였다. 추가기록형 매체에서는 Jipson과 Ahn[17]이 제시한 바와 같이 기록층 매질에 따라 기록 방식이 다르고, 이에 대한 규명이 명확하게 이루어지지 않은 상태이다. Peak와 Kestenbaum[18]은 mylar 기판, Bi 기록층과 glass 기판, gold 기록층을 사용한 기록에서 온도구배가 없다고 가정하고 온도분포를 해석적으로 구하였고, Suh와 Anderson[19]은 PMMA 기판과 Te 기록층으로 된 2층 광디스크 구조에서 용융잡열을 고려하여 유한차분법으로 열전달 해석을 하였다. Suh와 Craighead[20]는 표면장력과 점도의 비가 매우 크다는 가정하에서 Germanium 기록층에 대한 textured 기록특성을 연구하였다. 추가기록형 매체에서 기록특성에 관한 연구는 주로 기록층과 기판으로 된 2층 구조에서 Beer-Lambert 흡수법칙을 적용하여 이루어졌다.

본 연구에서는 기존의 재생전용형과 호환성을 갖는 추가기록형 실제로 필요한 정보를 제공하기 위하여 4층 구조를 갖는 기록매체를 설정하고 레이저를 조사할 때 Maxwell 방정식으로부터 광에너지 흡수분포를 구하여 시간과 위치에 따른 온도분포를 유한요소법을 적용하여



(a)



(b)

Fig. 1. (a) Schematic of a quadrilayer optic disk in the cylindrical coordinate system and (b) boundary conditions used for heat transfer analysis.

해석하였다. 또한 각 매질층에서의 두께변화, 레이저 빔의 조사조건, power 변화에 따른 열적양상을 조사하였다.

2. 광기록매체에 대한 수치해석

2-1. 광기록매체에 모델 설정

본 연구에서 적용된 계는 Fig. 1(a)에서 제시된 것과 같은 기판, 반사층인 알루미늄, 주석, 보호층의 구조를 갖는 광 디스크로서 Gaussian 분포를 갖는 레이저빔이 기판으로 조사되는 경우이다. 이 때 광 디스크에서 시간과 위치에 따른 온도분포를 수치해석적으로 계산하는 것이 본 연구의 목적이다. 이와 같은 경우 열전달은 반경방향(r)과 깊이방향(z)으로 일어나고 중심축에 대하여 대칭이다. 따라서 원통좌표계에서 열전달 지배방정식은 다음과 같다.

$$\rho_i C_i \frac{\partial \theta}{\partial t} = k_i \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) + g(r, z, t) \quad (1)$$

여기서 하첨자 i 는 각 층을 나타내며, ρ 는 밀도, C 는 비열, k 는 열전도도, $\theta = T - T_0$, $g(r, z, t)$ 는 레이저에 의해 각층마다 흡수된 단위 부피당 열원을 나타낸다.

이 때 사용된 경계조건들은 Fig. 1(b)에 나타낸 바와 같고, 초기조건은 $\theta = 0$ (at $t = 0$)이었다. 중심축에 적용된 경계조건은 온도분포가 중심축에 대하여 대칭이라는 것을 나타내고 디스크의 윗면과 아랫면에 적용된 경계조건은 레이저 광에너지를 흡수하여 열이 발생되는 층으로부터 각 경계면이 충분히 떨어져 있어 일정한 온도(T_0)로 유지하고 있다는 것을 나타낸다. 또한 수치해석 영역의 오른쪽 경계면에 적용된 경계조건은 오른쪽 경계면이 중심축으로부터 충분히 떨어져 있는 경우 조사된 레이저의 가열에 기인한 열경계층(thermal boundary layer)이 오른쪽 경계면에까지 침투하지 못한다는 것을 의미한다.

기록층의 pit형성에 영향을 미치는 중요한 인자인 레이저 power와 pulse duration은 Fig. 2에서 제시된 바와 같이 4-10 mW로 100 ns 동안 조사되었다. Pulse duration 효과와 광 디스크에서 열적양상이 정상상태에 도

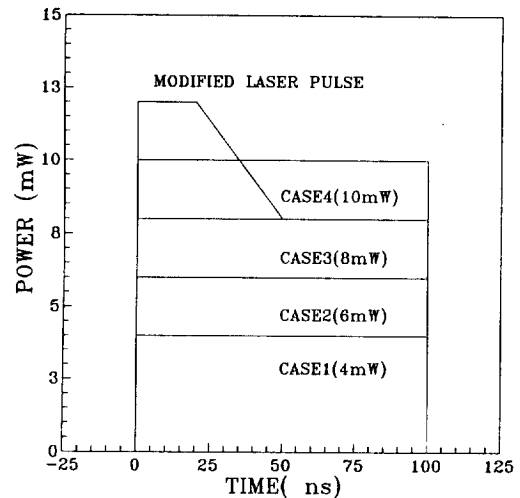


Fig. 2. Laser pulse used in the numerical calculations.

달되었는가를 살펴보기 위한 경우는 500 ns까지 레이저 광을 조사하였다. 또한 Fig. 2에 나타낸 modified laser pulse의 경우처럼 조사기간 동안 레이저의 power가 변화함에 따라 온도 분포가 어떤 양상을 갖는가를 해석하기 위하여 20 ns까지 12 mW로, 20-50 ns 동안에는 12 mW에서 8 mW로 직선적으로 감소하고 50 ns 이후에 8 mW로 조사하였다. 위의 모든 경우에서 광디스크에 조사된 레이저 파장은 780 nm이고 레이저 반경은 4000 Å이다.

Table 1에서는 수치해석을 하는데 사용된 각 층의 두께와 열적 성질과 광학적 성질들을 나타내는 물성치가 제시되었다[21]. 반사층과 기록층에서 두께는 각각 300 Å, 500 Å과 500 Å, 700 Å로 변화시켰으며, 굴절율은 ellipsometer를 이용하여 측정된 결과를 사용하였다.

Table 1에서 주어진 굴절율에서 흡수율은 빛의 흡수를 나타낸다. 따라서 기판과 보호층에서는 빛에너지의 유속변화는 없고, Al과 Sn층에서는 레이저 광에너지가 흡수되고, 이와 같이 흡수된 에너지는 열원으로 작용한다.

2-2. 레이저 광에너지의 흡수

Table 1. Numerical values for optical and thermal parameter

Layer	Thickness(Å)	Refractive index n	Specific heat ρC (J/m ³ /K)	Heat conductivity k (J/m/K/s)
1. Substrate(Polycarbonate)	5500	1.58	1.404×10^6	0.19
2. Aluminum	300, 500	$1.39 + 1.51i$	2.7×10^6	240
3. Tin	500, 700	$1.286 + 1.575i$	1.67×10^6	60
4. Resin(Polyurethan)	4400	1.5	2.25×10^6	0.15

레이저 광을 광기록매체에 조사하게 되면 각 매체에서 광에너지가 열에너지로 바뀌고 이는 곧 그 매체에서 열원으로 작용하여 전도에 의하여 물질 내부로 열전달이 이루어진다.

Fig. 1에서 제시된 바와 같이 Gaussian 분포를 갖는 레이저 빔이 조사되었을 경우, 다층막에서는 각 층마다 빛의 흡수, 반사, 투과가 일어나는 양상이 다르므로 k번째층을 기준으로 전기장과 자기장을 다음과 같은 Maxwell 방정식으로 표시할 수 있다[22].

$$\left[\frac{d^2}{dz^2} + (2\pi n^{(k)}/\lambda_0)^2 \right] E_k(z) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{d}{dz} E_k(z) + i \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \right) H_k(z) = 0 \quad (3)$$

여기서 $n^{(k)}$, $E_k(z)$, $H_k(z)$, λ_0 는 각각 k번째층에서 복소 굴절률, 전기장, 자기장과 레이저 파장을 나타낸다. 위의 연립 상미분 방정식으로부터 해는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E_k(z) = A_1^{(k)} \left(\exp \left\{ -i \left[2\pi n^{(k)}/\lambda_0 \right] \left(z - \sum_{j=k+1}^{N+1} z_j \right) \right\} + A_2^{(k)} \exp \left\{ i \left[2\pi n^{(k)}/\lambda_0 \right] \left(z - \sum_{j=k+1}^{N+1} z_j \right) \right\} \right) \quad (4)$$

$$H_k(z) = n^{(k)} A_1^{(k)} \left(\exp \left\{ -i \left[2\pi n^{(k)}/\lambda_0 \right] \left(z - \sum_{j=k+1}^{N+1} z_j \right) \right\} - A_2^{(k)} \exp \left\{ i \left[2\pi n^{(k)}/\lambda_0 \right] \left(z - \sum_{j=k+1}^{N+1} z_j \right) \right\} \right) \quad (5)$$

여기서 z_j 는 j층에서 두께를 나타낸다.

전기장과 자기장의 연속 조건으로부터 상수 $A_1^{(k)}$ 와 $A_2^{(k)}$ 의 순환관계를 얻을 수 있으며, Poynting vector 정리에 의해 다층막을 통과하는 빛에너지의 유속을 구할 수 있다[22].

$$\begin{aligned} Y(z) &= \text{Re} [1/2 E(z) H^*(z)] \\ &= 1/2 [n_r^{(k)} (\exp \{ -[4\pi n_{im}^{(k)}/\lambda_0] (z - \sum_{j=k+1}^{N+1} z_j) \} \\ &\quad - |A_2^{(k)}|^2 \exp \{ +[4\pi n_{im}^{(k)}/\lambda_0] (z - \sum_{j=k+1}^{N+1} z_j) \}) \\ &\quad - 2n_{im}^{(k)} |A_2^{(k)}| \sin \{ [4\pi n_r^{(k)}/\lambda_0] (z - \sum_{j=k+1}^{N+1} z_j) \\ &\quad + \Phi[A_2^{(k)}] \}] \cdot |A_1^{(k)}|^2 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $\Phi[A_2^{(k)}]$ 는 복소수 $A_2^{(k)}$ 의 phase angle을 의미하고 상첨자 *는 공액 복소수를 나타낸다.

디스크에 조사되는 Gaussian 분포를 갖는 레이저 빔의 강도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

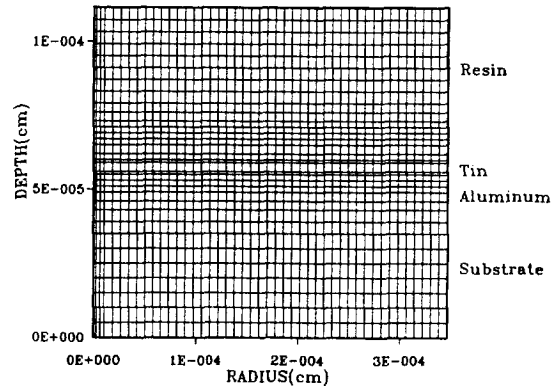


Fig. 3. Finite element mesh used in the simulation.

$$I(r, t) = [P_o(t)/\pi r_o^2] \exp[-(r/r_o)^2] \quad (7)$$

여기서 r 은 beam의 중심으로부터 거리 r_o 는 레이저 빔의 강도가 $1/e$ 떨어진 반경을 나타내며 $P_o(t)$ 는 시간에 따른 레이저 출력의 변화를 나타낸다. 따라서 레이저 빔이 조사되었을 때 식 (1)에서 주어진 각 층마다 흡수된 단위부피당 열원 $g(r, z, t)$ 는 식 (6)과 (7)로부터 다음과 같이 구한다.

$$g(r, z, t) = \frac{P_o(t)}{\pi r_o^2} \exp \left[-\left(\frac{r}{r_o} \right)^2 \right] \left(-\frac{dY}{dz} \right) \quad (8)$$

기판, Al, Sn, 보호층의 4층 구조를 갖는 광디스크에서 식 (6)으로부터 계산된 빛에너지의 유속은 z 로 미분함으로써 광디스크에서 열원을 계산할 수 있다.

2-3. 수치해석 방법

열전달 지배방정식 (1)과 적용된 경계조건 및 초기 조건을 만족하는 해는 유한요소법을 사용하여 구하였다. 계산에 사용된 유한요소 mesh의 한 가지 예를 Fig. 3에 도시하였다. 계산의 정확도를 유지하면서 전산기 사용 시간의 절약을 위하여 중심축 주위와 각 매질들 사이의 경계면 근처에서는 상대적으로 세밀한 mesh를 그렇지 않은 부분에서는 거친 mesh를 사용하였다. Fig. 3에 나타난 mesh의 경우 1485개의 bilinear quadri-lateral element(1564 nodes)가 사용되었다.

광디스크에서 r 방향으로 $3.46 \mu\text{m}$, z 방향으로 기판, Al, Sn, 보호층의 두께가 각각 5500 \AA , 300 \AA , 500 \AA , 4400 \AA 과 5500 \AA , 500 \AA , 700 \AA , 4400 \AA 에 각각 두 경우에 대하여 해석하였다. r 방향으로의 수치해석 영역에 대하여는 이론이 있을 수 있으나, 본 연구에서 행한 수치실험(numerical experiment)에 의하면 r 방향으로 더 이상 domain의 size를 늘려 주어도 Fig. 7에 나타난 바와 같이 계산결과에는 별다른 영향을 주지 않았다. 시간에 따른

온도분포의 변화를 추적하기 위하여는 implicit predictor-multicorrector 방법이[23] 사용되었다. 사용된 time step size은 2-5 ns이었으며, 한 time step을 계산하는데 걸리는 CPU time은 SUN-4/50에서 33 sec이었다.

2-4. 이동하는 매체에 대한 열전달 해석

앞에서는 고정된 기록매체에서 레이저 빔에 의한 빛의 흡수와 그에 따른 열 확산 문제를 유한요소방법을 적용하여 해석하였다. 광기록매체에서 정보를 access하는 방법은 CAV(Constant Angular Velocity)와 CLV(Constant Linear Velocity)로 분류되며[24] 본 연구에서는 일정한 선형속도로 기록매체가 움직인다고 보고 원통형 좌표계를 잡는다. 이 때 점(x_0, y_0, z_0)는 빛이 조사되는 방향으로 깊이 z_0 에서 빛의 중심으로부터 $(x_0^2 + y_0^2)^{1/2}$ 반경만큼 떨어진 거리를 나타낸다.

기록매체가 x방향으로 일정속도 V만큼 움직인다면 Δt 시간후에는 $V\Delta t$ 만큼의 거리를 이동할 것이다. 만일 기록매체의 이동속도가 작다면 시간간격 Δt 시간 동안은 정지되어 있고 Δt 시간 이후에 $V\Delta t$ 만큼 움직인다고 보아 앞에서 구한 정지된 매체에 대한 해를 이용할 수 있다. 레이저 빔은 Δt 시간 동안 정지된 기록매체에서 다음과 같은 Gaussian강도를 가지고 조사된다.

$$I_1(r, t) = \begin{cases} [(\pi r_0^2)^{-1} \exp(-(r/r_0)^2)] & 0 \leq t \leq \Delta t \\ 0 & t > \Delta t \end{cases} \quad (9)$$

레이저 pulse $P(t)$ 에 대응하여 발생하는 임의의 정수 N에 대한 온도 $T(x_0, y_0, z_0, N\Delta t)$ 를 결정하기 위하여 각각의 시간 간격 Δt 에서 P_n 을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_n = \frac{1}{\Delta t} \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} P(t) dt, \quad 1 \leq n \leq N \quad (10)$$

여기서 P_n 은 n번째 간격에서 pulse의 평균적인 강도를 나타낸다. 또한 (x_0, y_0) 에서 선형속도 V로 움직임으로써 변하는 r_n 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$r_n = [x_0^2 - (N - n + (1/2))V\Delta t]^2 + y_0^2]^{1/2}, \quad 1 \leq n \leq N \quad (11)$$

r_n 은 (x_0, y_0, z_0) 와 n번째 간격동안 빔 중심축과 떨어진 반경거리를 나타낸다.

이동하는 매체에 대한 열전달 해석의 한 방법으로 특정한 깊이(기판, 필름층)에서 시간 간격을 적당히 설정함으로써 임의의 x_0, y_0 에서 온도 T_1 를 정지된 매체에서 얻은 결과를 이용하여 다음과 같이 내삽함으로써 얻을 수 있다.

$$T_1(x_0, y_0, z_0, N\Delta t) = \sum_{n=1}^N P_n \theta[r_n, z_0, (N - n + 1)\Delta t] \quad (12)$$

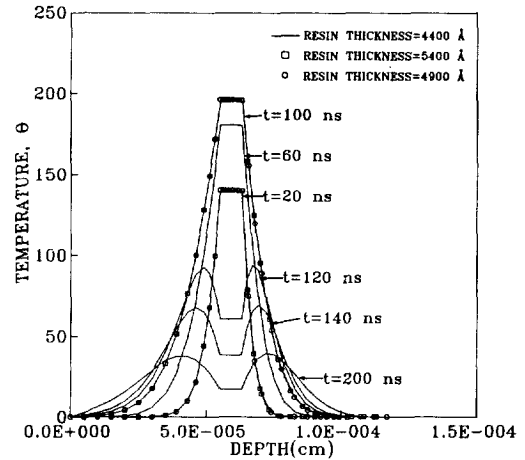


Fig. 4. Temperature vs. z at the center of the beam(8 mW, 100 ns, Al=300 Å, Sn=500 Å).

3. 결과 및 검토

레이저 빔을 열원으로 기록매체에 가열함으로써 각각의 매체에서 빛의 에너지가 흡수되는 양은 시간에 따른 온도 상승에 큰 영향을 미친다. 앞에서 제시된 광기록매체의 모델을 선택하여 식 (6)에서 주어진 것과 같이 단위 강도로 조사되는 빛에 대한 z 에 수직한 평면에서의 광에너지의 평균 유속을 구하여 $Y(z)$ 을 z 로 미분함으로써 레이저 빛에너지 흡수율을 구할 수 있다. 레이저 광을 기록매체에 조사하면 앞에서 언급했듯이 기판에서는 유속의 변화는 없고 반사층과 기록층 순으로 빛에너지 흡수가 일어나고 보호층에서는 빛의 유속의 변화가 없는 상태가 된다.

Al층과 Sn층에서 흡수된 열이 기판과 보호층으로 열전도 양상을 조사하기 위하여 빔의 중심($r=0$)에서 시간에 따른 z 방향으로의 온도분포는 Fig. 4-6에 나타내었다. Fig. 4는 8 mW, 100 ns 조사시 광기록매체에서 가열하는 동안에는 Al층과 Sn층에서 온도가 높게 나타났으며 Al층이 Sn층보다 높지만 거의 차이가 없고 냉각하는 동안은 기판과 보호층에서 온도가 높은 양상을 보여준다. 이는 Al층과 Sn층이 박막이고, Al층에서 광흡수율은 높지만 열전도도가 크기 때문에 열확산이 잘 일어나서 가열하는 동안 Sn층과 온도차이가 거의 없고 냉각하는 동안에는 Al층과 Sn층이 갖고 있는 열에너지를 기판으로 전달하여 짧은 시간동안 강하된다. 상대적으로 기판과 보호층에서는 열전도도가 작기 때문에 냉각하는 동안에 Al층과 Sn층으로부터 유입되는 열에너지가 서서히 전달되기 때문에 온도가 높게 나타난다. 또한 보호층의 두께를 4400 Å에서 4900 Å, 5400 Å으로 해석영역 크기

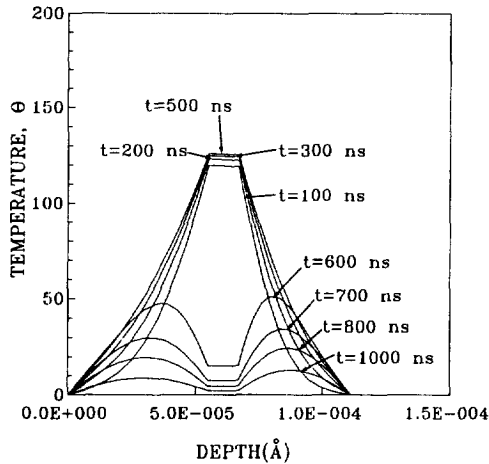


Fig. 5. Temperature vs. z at the center of the beam (6 mW, 500 ns, Al=500 Å, Sn=700 Å).

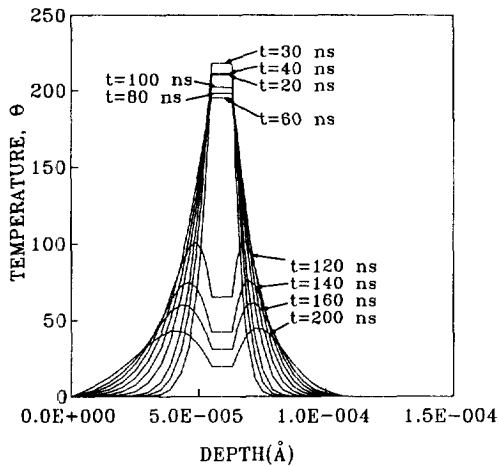


Fig. 6. Temperature vs. z for the modified laser pulse (Al=300 Å, Sn=500 Å).

를 변화시켜도 온도분포는 영향이 없음을 Fig. 4는 보여 주고 있다.

6 mW, 500 ns 동안 레이저 조사시 100 ns 이후의 온도분포는 Fig. 5에서 나타나듯이 거의 차이가 없다. 따라서 500 ns 동안 레이저를 조사하였을 때 100 ns 이후에 광디스크에서는 열적 평형상태에 있다고 볼 수 있다. 레이저 power를 변화시켰을 때도 이와 같은 경향이 나타난다. 100 ns 조사시간동안 레이저 power가 12-8 mW로 변함에 따라 온도분포는 Fig. 6에서와 같은 양상을 보여주고 있다. 그림에서 나타나듯이 기록층에서의 최고 온도는 일정한 power로 조사하는 경우와 다르게 30 ns에서 243°C ($\theta=218$)를 보였으며 40 ns에서의 온도는

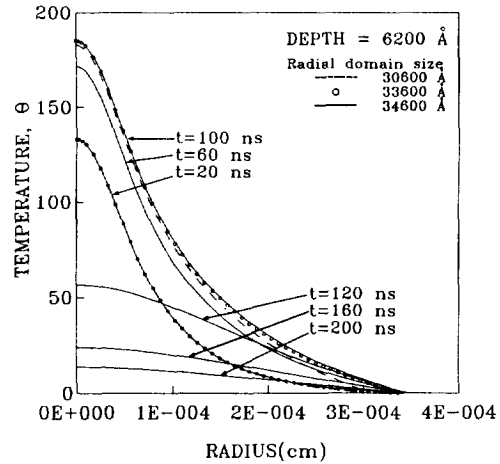


Fig. 7. Radial temperature distribution of the film (10 mW, $z=6200$ Å, 100 ns, Al=500 Å, Sn=700 Å).

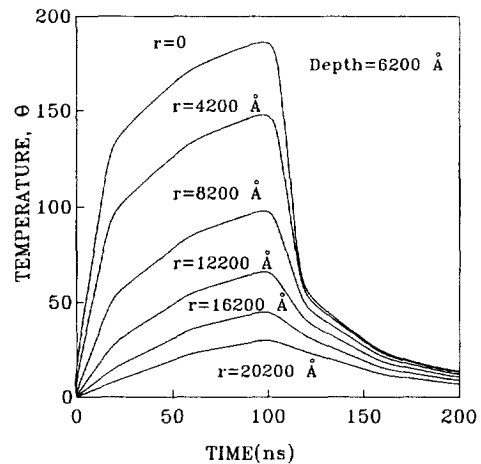


Fig. 8. Time vs. film's temperature at various radii (10 mW, $z=6200$ Å, Al=500 Å, Sn=700 Å).

최고온도보다는 낮고 20 ns의 온도보다는 약간 크게 나타났다. 또한 일정한 power로 조사되는 50-100 ns 구간에서는 온도가 조금씩 상승하다가, 100 ns 이후에서는 기록층에서의 열에너지가 기판과 보호층으로 전달되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 7에서는 Al=500 Å, Sn=700 Å에 대해 기록층에서 시간과 반경에 따른 온도분포를 도시하였다. 기록층에서의 온도분포는 빔의 중심에서 가장 높고 r이 증가함에 따라 감소하는 가우스 분포를 보였다. 반경방향으로 수치해석 영역을 3.06, 3.36, 3.46 μm 로 설정했을 때 20 ns에서 온도분포는 세 가지 경우 모두 일치했으며, 100 ns에서도 거의 차이가 나지 않았다. 또한 Al=500 Å,

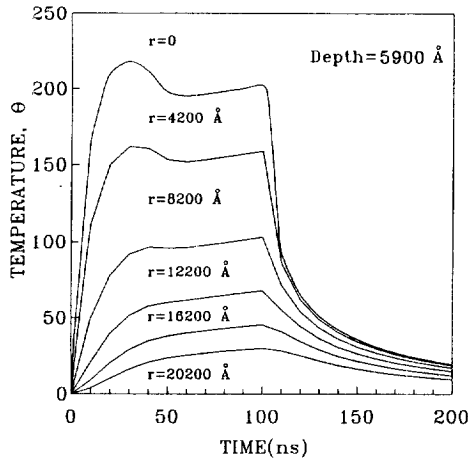


Fig. 9. Time vs. film's temperature for the modified laser pulse ($Al = 300 \text{ Å}$, $Sn = 500 \text{ Å}$, $z = 5900 \text{ Å}$).

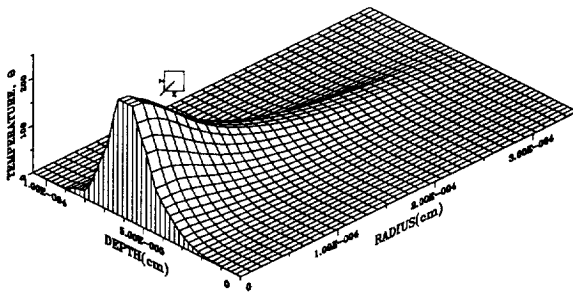


Fig. 10. Temperature distribution at 100 ns (10 mW, $Al = 300 \text{ Å}$, $Sn = 500 \text{ Å}$).

$Sn = 700 \text{ Å}$ 인 광 디스크에서 조사시간이 500 ns일 때 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 반경방향으로 100 ns 이후의 온도변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

r 이 4000 Å 씩 증가함에 따라 시간에 대한 온도분포를 Fig. 8, 9에 도시하였다. Fig. 8은 100 mW의 일정한 power로 100 ns 조사시에 온도분포로서 100 ns에서 최대 온도를 보이고 생각하는 동안 급격히 온도가 떨어지고 있다. 이와는 다르게 Fig. 9에서는 유효반경내에서는 반경방향으로 온도분포가 30 ns에서 최대온도를 나타내고 감소하다가 50-100 ns까지 서서히 증가하는 형태를 보인다. 생각하는 동안에 온도는 Fig. 8에서와 같이 급격히 떨어진다.

Fig. 10에서는 10 mW power로 100 ns 조사시 100 ns에서 r 과 z 의 전영역에서 온도분포를 도시하였고 Fig. 11에서는 이에 대한 등온선이 제시되었다. 전 domain에서 반사층과 기록층에서 최대온도를 보이고 두 층의 온도는 거의 균일하게 나타난다. Table 2에서는 power, 조사시

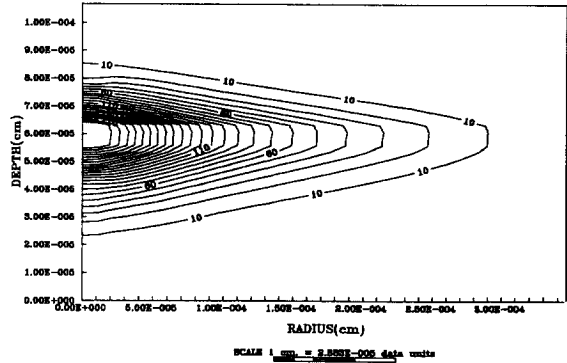


Fig. 11. Isothermal lines at 100 ns (10 mW, $Al = 300 \text{ Å}$, $Sn = 500 \text{ Å}$).

Table 2. Maximum temperature ($\theta = T - T_0$)

Power(mW)	4	6	8	10	6
Pulse duration(ns)	100	100	100	100	500
$Al = 300 \text{ Å}$	98.08	147.13	196.17	245.22	171.74
$Sn = 500 \text{ Å}$					
$Al = 500 \text{ Å}$	74.45	111.67	148.89	186.12	126.04
$Sn = 700 \text{ Å}$					

간, 기록층의 두께변화에 따른 최대온도를 도시하고 있다. 최대온도는 power가 증가할수록 기록층의 두께가 감소할수록 조사시간이 길수록 증가한다. 앞에서 언급했듯이 레이저의 조사시간이 100 ns 이상이 될지라도 100 ns에서 기록매체가 열적 평형상태에 도달하므로 최고온도 차이는 거의 없고 $Sn = 700 \text{ Å}$ 에 10 mW를 조사했을 때보다 $Sn = 500 \text{ Å}$ 에 8 mW를 조사하였을 때 최대 온도가 더 높은 것으로 나타난다. 따라서 광디스크 설계시 power의 증가는 내구성 문제에도 관련되므로 기록층 두께변화를 통한 빛의 흡수 양상을 조절함으로써 pit을 형성하는 것이 바람직하다.

일정선형속도로 천천히 이동하는 기록매체를 고려할 때 시간 간격을 열적 평형상태에 도달하는 시간으로 잡고 그 시간 간격($\Delta t = 100 \text{ ns}$)에서 식 (9)와 같은 레이저 빔이 조사된다고 보고 기록층에 대하여 열전달 해석을 하였다. 기록층에서 등온선을 구하기 위하여 구간을 $-1000 \text{ nm} \leq x_0 \leq 1000 \text{ nm}$, $-1000 \text{ nm} \leq y_0 \leq 1000 \text{ nm}$ 로 잡고 200×200 mesh로 기록층을 분해하였다. 각 nodal point값으로부터 식 (11)에서 주어진 r_n 을 구하고 최종적으로 식 (12)에 주어진 온도 T 값을 구하여 기록층에서 온도분포를 해석하였다.

Fig. 12에서는 x , y 전구간에 대한 등온선을 도시하였고, 등온선은 매체가 이동하는 방향(레이저 광이 이동하는 반대방향)으로 타원형 형태를 구성한다. 특히 195

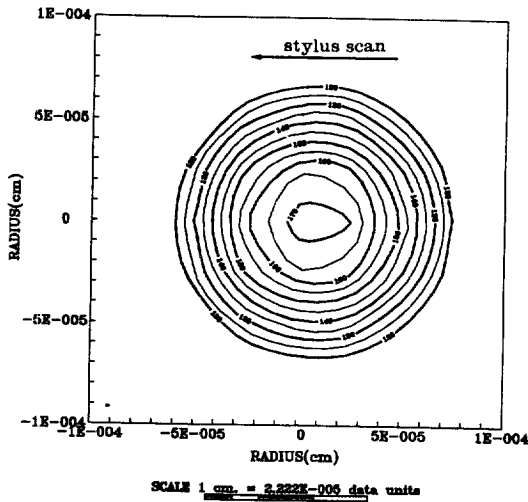


Fig. 12. Isothermal lines for the plane film layer(6 mW, $z = 5900 \text{ \AA}$, moving medium, $\lambda = 300 \text{ \AA}$, $S_n = 500 \text{ \AA}$).

$^{\circ}\text{C}$ ($T_1 = 170^{\circ}\text{C}$) 등온선에서 눈물방울 형상(teardrop-like domain shape)이 나타나는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 Gaussian 분포를 갖는 레이저 빔이 광디스크에 조사되었을 때 시간과 위치에 따른 온도분포를 유한요소법을 적용하여 해석하였다. 레이저 조사시 광디스크에서 온도분포는 레이저 power, 조사시간, 기록층과 반사층의 두께, 디스크 구조 등이 중요한 영향을 미침을 알 수 있었다. 특히 power가 높을수록 반사층과 기록층이 얇을수록 온도가 증가되어 나타났다. 또한 power 크기, 각 층의 두께변화 등에 거의 영향을 받지 않고 100 ns 이후에 온도가 정상상태에 도달함을 알 수 있었다. 움직이는 기록매체에 일정한 레이저 power가 조사되었을 때 눈물방울 형상의 등온선이 형성됨을 예측할 수 있었다.

감 사

본 연구는 (주)금성사(금청연 115-91032901)의 연구비 지원에 의하여 수행된 결과의 일부이며 이에 감사를 드립니다.

사용기호

A_i : arbitrary constants

C : heat capacity [J/kgK]
 E : electric field [volt/m]
 g : power delivered to the unit volume by laser [W/m^3]
 H : magnetic field [Ampere-turn/m]
 I : intensity [W/m^2]
 k : thermal conductivity [J/m/sec/K]
 n : refractive index
 P : laser power [W]
 r : radius [m]
 r_0 : exp(-1) radius of Gaussian beam [m]
 r_n : radius defined by Eq. (11) [m]
 t : time [sec]
 V : velocity [m/sec]
 Y : average rate of flow of optical energy
 z : vertical depth [m]

그리스 문자

ρ : density [kg/m^3]
 θ : temperature ($= T - T_0$) [K]
 λ : wavelength [m]
 Φ : phase angle of the complex number

하첨자

i : refers the i -th layer
 im : refers the imaginary part
 r : refers the real part

참고문헌

1. Chen, D., Ready, J. and Bernal, E.: *J. Appl. Phys.*, **39**, 3916(1968).
2. Maydan, D.: *Bell Syst. Tech. J.*, **50**, 1761(1971).
3. Wrobel, J.: *SPIE Proc.*, **420**, 288(1983).
4. Marchant, A. B.: "Optical Recording", Addison-Wesley(1990).
5. Gupta, M. and Strome, F.: *J. Appl. Phys.*, **60**, 2932(1986).
6. Williams, H., Sherwood, R., Foster, F. and Kelly, E.: *J. Appl. Phys.*, **28**, 1181(1957).
7. Choudhari, P., Cuomo, J., Gambino, R. and McGuire, T.: U.S. Patent, #3,949,387(1976).
8. Mansuripur, M.: *J. Appl. Phys.*, **61**, 1580(1987).
9. Birecki, H., Naberhuis, S., Anthony, T. and Ast, D.: *SPIE Proc.*, **529**, 19(1985).
10. Hansen, P.: *J. Appl. Phys.*, **63**, 2364(1988).
11. Kubota, K., Fujii, H., Kobayashi, K., Suzuki, T. and Gokan, H.: *IEEE Trans. Magn.*, **24**, 2300(1988).
12. Miyamoto, H., Niihara, T., Sukeda, H., Takahashi,

- M., Nakao, T., Ojima, M. and Ohta, N.: *J. Appl. Phys.*, **66**, 6138(1989).
13. Feinleib, J., de Neufville, J., Moss, S. C. and Ovshinsky, S. R.: *Appl. Phys. Lett.*, **18**, 254(1971).
 14. Chen, M., Rubin, K. A. and Barton, R. W.: *Appl. Phys. Lett.*, **49**, 502(1986).
 15. Maeda, Y., Andoh, H., Ikuta, I. and Minemura, H.: *J. Appl. Phys.*, **64**, 1715(1988).
 16. Bhattacharyya, M. K. and Cendes, Z. J.: *J. Appl. Phys.*, **57**, 3894(1985).
 17. Jipson, V. B. and Ahn, K. Y.: *Solid State Tech.*, 141 (1984).
 18. Peak, U. C. and Kestenbaum, A.: *J. Appl. Phys.*, **44**, 2260(1973).
 19. Suh, S. Y. and Anderson, D. L.: *Appl. Opt.*, **23**, 3965 (1984).
 20. Suh, S. Y. and Craighead, H. G.: *Appl. Opt.*, **24**, 208 (1985).
 21. Mark, H. F., Bikales, N. M., Overberger, C. G., Menges, G. and Kroschwitz, J. I.: "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering", 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, NY(1987).
 22. Jackson, J. D.: "Classical Electrodynamics", John Wiley & Sons Inc., New York, NY(1975).
 23. Hughes, T. J. R., Pister, K. S. and Taylor, R. L.: *Comput. Meth. Appl. Mech. Engng.*, **17/18**, 159(1979).
 24. Isailovic, J.: "Videodisc and Optical Memory Systems", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey(1985).