

The Thermal Analysis of Te-based media for Optical Recording (광기록에 이용되는 Te-based Media에 대한 열적 해석)

천석표*, 이성준, 이현용, 정홍배
(광운대학교 전자재료공학과)

S.P. Chun*, S.J. Lee, H.Y. Lee, H.B. Chang
(Dept. of Electronic Materials Eng. Kwangwoon Univ.)

Abstract

We discussed the thermal analysis for recording media with the variation of the laser pulse duration and the power and the temperature distribution for the optimized Te-based antireflection structure by using the computer calculations.

If the radial diffusion of heat is negligible, we can calculate the maximum temperature at the spot center in recording layer by Simple Method, and the temperature profile considering the specific heat and the latent heat by Numerical Method. As a result, the effect of the heat sinking which acted as a loss for the hole formation can be minimized by introducing the pulse of the hole formation duration (τ) shorter than the thermal time constant (τ_D) of dielectric layer. This requirements can be satisfied as using the dielectric thickness of the 2nd ART condition or the dielectric materials with low thermal diffusivity.

서론

정보처리 시스템에서 정보량이 급격히 증가함에 따라 이를 효과적으로 저장하고 신속하게 처리할 수 있는 기록 매질을 찾는 것이 매우 중요하다. 그러나 아직도 최적 매질의 선택에 대한 확신이 없는 상태다.

본 논문에서는 높은 저장밀도와 저장능력 그리고 빠른 처리 속도를 갖는 광정보기록분야 중 추가기록형 (WORM

: Write Once Read Many) 방식¹⁾인 Ablation 광기록 방식에 대한 열적 특성에 관하여 해석하였다.

hole 형성에 대한 이론은 아직 정립되지 않았으며, 단지 레이저빔을 흡수하므로써 박막의 온도가 상승한다는 사실만이 명백하다. Maydan 등은 hole 형성이 레이저 spot 중심에서 박막이 "evaporation" 되는 온도부터 시작한다고 제안하였으며,²⁾ Terao 등은 hole 형성이 물질의 "sublimation"과 관계가 있고 깨끗한 hole을 얻기 위해서는 비교적 큰 점도의 매질을 사용하여야 한다고 보고한 바 있다.³⁾ Miller 등은 hole 형성과정에 대한 역학적 모델을 제안하였는데, "표면장력(surface tension)"이 hole 형성에 주요한 작용을 한다고 보고하였다.⁴⁾ 즉, 레이저빔 조사에 의한 박막내 spot에서의 온도구배에 의해서 발생하는 표면장력구배와 박막의 점도(viscosity)구배 그리고 모세압력(capillary pressure)구배 사이의 관계로부터 hole 형성에 대한 에너지 장벽을 고려하였다. 또한 Bell 등은 광학적 효율을 증가시키기 위한 방안으로 삼중층의 반사방지 구조(antireflection structure)를 제시하였으며,⁵⁾ 그 후 이러한 삼중층 구조로부터 개선된 광학적 효율은 반사층으로 이용되는 금속막(Al)으로의 heat sinking에 의해서 그 효율이 상쇄됨을 보고하였다. 그리고 Cohen 등은 이러한 반사층에 의한 heat sinking 효과를 제거할 수 있는 방안을 제안하였다.⁶⁾ 본 논문에서는 Kivits의 이론을 기초로 하여 레이저빔 조사시 박막내의 온도상승을 예측하고 2nd ART 구조에서의 heat sinking 효과를 고려해 보고자 한다.⁷⁾

먼저 Ablation 방식에 의한 광기록 매질의 요건으로는 낮은 용점, 낮은 열확산도 그리고 높은 점도를 가져야 하며, 기록 및 재생시 레이저에 대한 감도가 크고 수명이 길어야 한다. Te 박막은 낮은 용점($\sim 449.5^\circ\text{C}$)과 낮은 열확산도 가지며, Ar 레이저 파장(488nm)에서 뿐만 아니라 실

제적인 광기록 응용으로 사용될 다이오드 레이저 파장 (830nm) 부근에서도 높은 광흡수 계수 ($\sim 4.9 \times 10^4 \text{cm}^{-1}$)를 갖고 있다. 그러나 Te 박막은 습기 분위기에서 열화 (degradation)가 발생하는 문제점이 있다.

본 논문에 앞서 Te 박막의 열화를 제거할 수 있는 $(\text{Te}_{0.5}\text{Se}_{1.4})_{50}\text{Bi}_{50}$ 박막을 이용한 Ablation 방식의 광학적 특성을 보고한 바 있으며,⁸⁾ 이 때 단일층의 두께는 반사도가 크고 투과도가 비교적 낮은 300Å 두께의 기록층을 선택하였다. 삼중층의 경우는 효과적인 반사방지 조건을 위한 기록층의 두께가 27Å이었고 유전층의 두께는 1st ART 조건인 경우 1,080Å, 2nd ART 조건인 경우에는 3,820Å이었다. 그리고 반사층의 두께는 투과도가 5% 미만인 되도록 500~1,000Å으로 하였다.⁹⁾ 위와 같은 조건에서 단일층은 ~ 0.4 미만의 대비도값을 나타내며, 삼중층은 대비도를 ~ 0.9 로 향상시킬 수 있다. 컴퓨터 계산에 의한 삼중층 구조의 광학적 특성은 hole 형성이 완벽한 경우를 가정한 것이다. 이와 같은 완벽한 hole 형성을 얻기 위해서 레이저 펄스 duration과 파워에 대한 기록층에서의 열적 특성을 컴퓨터 계산을 통하여 예측하고, 열적 손실로서 작용하는 heat sinking을 제거할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

이 론

일반적으로 hole 형성은 박막의 부분적인 용융에 의해 진행된다고 가정되고 있으며, 먼저 Simple Method를 이용하여 측면으로의 열적 확산을 무시하는 경우, 박막내의 최대 온도를 근사적으로 계산할 수 있다. 온도상승 T와 효율 η 는 다음과 같다.

$$T = \eta \frac{APt}{c_1 \pi R^2 h} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{c_1 h}{c_1 h + c_2 l_2} \quad (2)$$

여기에서, A는 흡수도(Absorbance), P는 레이저 파워, t는 시간, c는 단위부피당 비열, R은 spot 반경 그리고 h와 l은 각각 기록층과 열 확산길이를 나타낸다.

다음은 Numerical Method로서 잠열(H_i)과 비열(c_i)을 고려하는 경우, PMMA기판위 Te 박막의 temperature profile을 계산하는 데 이용할 수 있다.

$$c_i \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = \lambda_i \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{AP}{\pi R^2} b(r)b(z) \quad (3)$$

여기에서, i는 각각 기록층(i=1)과 유전층(i=2) 그리고 b(r)과 b(z)는 r(lateral) 및 z(depth) 방향의 dimensionless 분포함수이고 λ_i 는 열전도도이다.

만약 경계면에서 $T_1=T_2$ 라고 가정한다면, H_i 은 용융점 부근에서 증가된 비열의 양의 함수로 나타내어지는 잠열을 나타낸다. 그리고 c_i 는 총 비열을 나타낸다.

$$H_i = \int_{-\infty}^{\infty} c_0 \exp \left[- \left(\frac{T - T_m}{\sigma} \right)^2 \right] dT \quad (4)$$

$$c_i = c_1 + \frac{H_i}{\sigma \sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{T - T_m}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (5)$$

표면 장력, 표면 불균일성(surface irregularities) 등과 같은 층파괴(layer rupture)에 대한 큰 에너지 장벽이 존재하기 때문에 박막이 용융되었다라든 hole이 형성되는 것은 아니다. 이러한 에너지 장벽 때문에 박막내에 superheating이 발생하여 용융점 이상에서 hole이 형성된다.

레이저빔 조사에 의한 hole 형성시 열적 손실로서 작용하는 heat sinking을 감소시키는 방안으로는 삼중층 구조에서 2nd ART 조건을 만족하는 유전층을 사용함으로써 두께를 증가시키거나 낮은 열확산도를 갖는 유전체 물질을 사용하는 것이 제안되고 있다. 예를 들면 Te/SiO₂/Al 구조($\lambda=8,000\text{Å}$)를 최적화시킨 ART 구조에서 유전층으로 쓰이는 SiO₂의 열확산도(k_D)가 $0.73 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 일때 1st antireflection 두께(1,080Å)인 경우, 열적 시상수($\tau_D \sim h^2/k_D$)는 17nsec이다. heat sinking을 고려할때 위의 열적 시상수 값은 기록층의 펄스 duration이 $\sim 100\text{nsec}$ 정도라고 볼 때 매우 비효율적이지만, 2nd antireflection 두께(3,820Å)인 경우는 열적 시상수가 200nsec이므로 레이저 펄스 duration 동안 heat sinking을 무시할 수 있다.

본 논문에서는 반사방지 조건을 만족하는 삼중층 구조에서 반사층으로 인한 heat sinking 효과를 무시할 수 있는 조건을 선택함으로써 단일층 구조에서의 열적 해석을 이용하여 삼중층 구조의 열적 해석을 수행하였다.

결과 및 고찰

컴퓨터 계산을 통하여 여러 가지 다른 레이저빔 파워에서의 레이저 펄스 duration에 따른 박막의 온도 상승과 삼중층 구조에서 레이저 펄스 duration을 달리 했을 때의 유전층 두께에 따른 온도 변화를 예측하였다. 표 1은 각 원소에 대한 열적 특성에 대해서 나타낸 것이다.

표 1. 각 원소의 열적 특성

material	λ [W/mK]	k [$10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$]	H [10^9J/m^3]	T_m [K]	c [$10^3 \text{J/m}^3 \text{K}$]
Te	1.6	1	0.88	703	1.26
Bi	5	6	0.51	523	1.03
SiO ₂	1.4	0.73	-	1740	1.93
Al	422	174	-	933	2.43
PMMA	0.19	0.0804	-	-	2.4

그림 1은 레이저의 파워를 5mW로 하고 펄스 duration을 50nsec, 190nsec으로 설정 하였을 때 2nd antireflection 조건(3,820Å)을 만족하는 유전층의 두께에 따른 온도변화를 보여주고 있다. 결과적으로 2nd antireflection 조건을 만족하는 두께의 유전체층을 사용하고 유전체층의 열적 시상수를 넘지 않는 레이저 펄스 duration을 사용함으로써 heat sinking을 제거할 수 있음을 보여주고 있다.

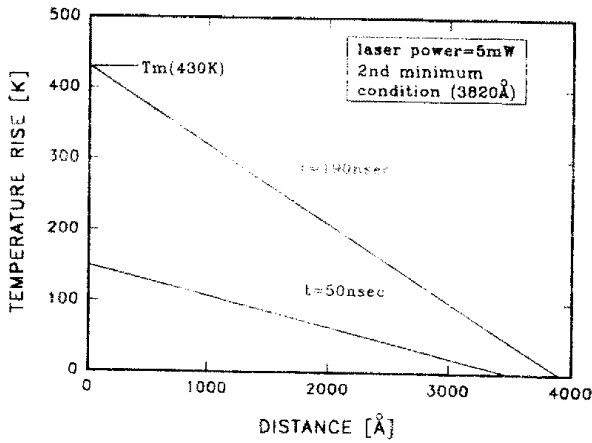


그림 1. 여러 가지 펄스 duration에 따른 온도 분포
Fig. 1. The temperature distribution during a pulse duration at various times

그림 2는 PMMA 기판위 31.5nm 두께의 Te 박막에서 각각 다른 파워를 사용하여 펄스 duration에 따른 spot 중심에서의 온도 상승 관계를 나타낸 그림이다. 파워와 펄스 duration에 따라 박막의 온도가 급격히 증가함을 보여주고 있다.

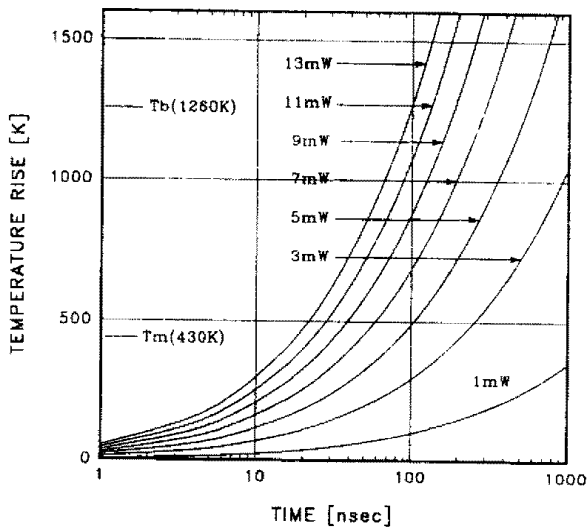


그림 2. 여러 가지 레이저 파워에 따른 레이저 노출 동안의 온도상승
Fig. 2. The temperature rise during the laser exposure for different values of the laser power

그림에서 알 수 있듯이 펄스 duration이 길고 파워가 낮을수록 spot 중심의 온도가 Te의 melting point에 근접하고, 펄스 duration이 짧고 파워가 높을수록 spot 중심의 온도는 증가한다. 특히 100nsec 이하에서 충분한 파워를 가해주면 Te의 boiling point인 1,260K에 근접하게 된다. 이 온도영역에서는 hole 형성에 대해 evaporation이 주요한 작용을 하는 것으로 예상된다. 박막의 온도가 melting point를 넘어서도 hole이 형성되지 않는 것은 어떠한 에너지 장벽이 존재함을 의미한다. 이것은 melting point에서 용융과정에 대한 제한된 역학적 모델로서 설명될 수 있다. 즉 레이저빔 조사에 의해서 박막의 온도는 상승하고

어느 순간 spot 중심에서의 온도가 melting point에 이르게 된다. 그러나 용융상 경계에서의 물질 이동의 속도가 용융 온도의 전파 속도보다 느리게 되면 superheating이 발생하고 spot 중심에서의 온도는 급격히 상승한다. 결과적으로 hole이 형성되기 위해서는 펄스 duration이 짧을 경우 레이저 파워가 충분히 커야 하며, 펄스 duration이 길수록 레이저의 파워가 낮아도 hole이 형성됨을 예측할 수 있다.

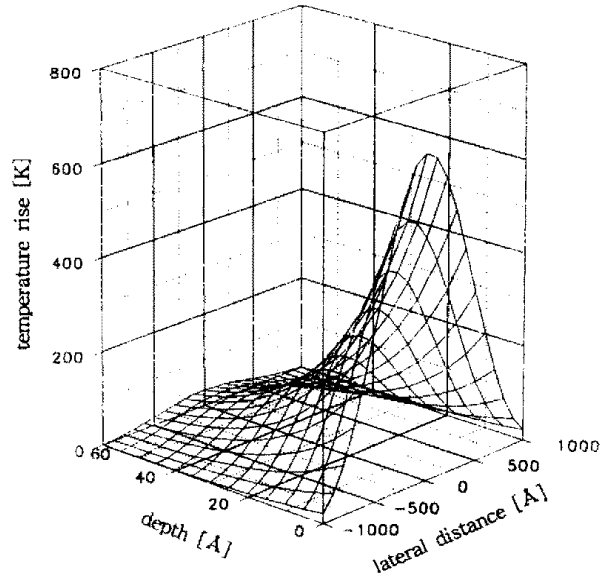


그림 3. 레이저 조사에 따른 3차원 온도상승 곡선
Fig. 3. The 3 dimensional temperature rise with laser irradiation

그림 3은 레이저 조사에 따른 3차원적인 온도상승을 나타낸다. 그리고 그림 4는 레이저 조사 후 기록층의 cooling 곡선을 나타내는 그림이다. 이 때 사용된 레이저 파워는 7mW이며, 펄스 duration은 100ns이다. 이 그림에서 레이저 조사가 끝난 후 온도가 급격히 감소함을 알 수 있다.

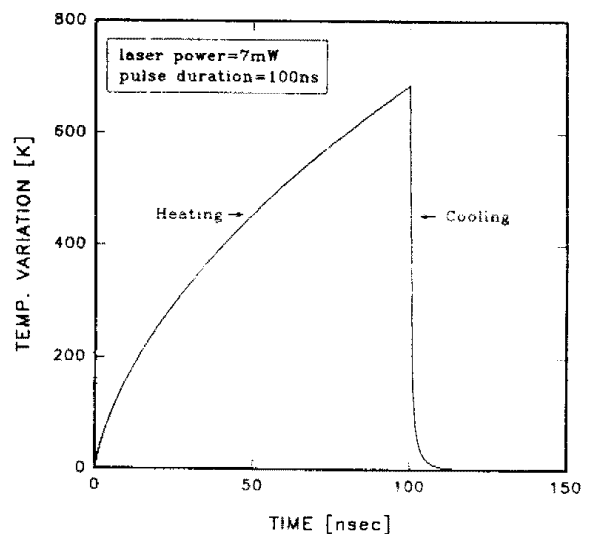


그림 4. 레이저 조사후 기록층의 온도변화 곡선
Fig. 4. The temperature variation of recording layer after laser irradiation

결 론

이상의 결과 및 고찰로 부터 다음의 결론을 예측할 수 있다.

여러가지 파워 및 펄스 duration에 따른 기록층에서의 온도상승을 계산하므로써 hole이 형성되기 위한 최적 조건을 예측할 수 있다. 또한 유전체 층을 증가시킨 2nd antireflection 조건을 이용하고, hole formation duration (τ)이 유전체 층의 열적 시상수(thermal time constant ; τ_D)를 초과하지 않는 펄스를 도입하여 heat sinking을 극소화시킬 수 있다. 즉, 2nd antireflection 두께(3,820Å)인 경우는 열적시상수가 200nsec이므로 기록시의 레이저 펄스 duration이 ~100nsec 정도라고 볼 때 이론적으로 heat sinking을 완전히 무시할 수 있다.

REFERENCE

1. J. Wrobel, SPIE Proceedings **420**, pp.288, 1983
2. D. Maydan, Bell Syst. Tech. **50**(6), pp.1761, 1971
3. M. Terao et al., J. Appl. Phys. **50**(11), pp.6681, 1979
4. R.C. Miller et al., Bell Tech. **58**, pp.1909, 1979
5. A.E. Bell and F.W. Spong, Appl. Phys. Lett. **34**(4), pp.275, 1979
6. M.S. Cohen, Appl. Phys. Lett. **36**(12), pp.950, 1980
7. P. Kivits et al., Appl. Phys. **24**, pp.273, 1981
8. H.B. Chung, Y.J. Lee, H.Y. Lee, and J.S. Song, Trans. KIEE **38**(2), pp.106, 1989
9. H.B. Chung, H.Y. Lee, and S.J. Lee, KIEEM, to be published.