

광기록에 이용되는 Te-based Media에 대한 열적 해석

논 문
8-1-10

The Thermal Analysis of Te-based Media for the Optical Recording

이성준*, 천석표*, 이현용*, 정홍배*

(Sung-Jun Lee, Suk-Phyo Chun, Hyun-Yong Lee, Hong-Bay Chung)

Abstract

We discussed the thermal analysis for a recording media with the variation of the laser pulse duration, the laser power and the temperature distribution in order to optimize the Te-based antireflection structure from the computer calculations.

In the case that the radial heat diffusion is negligible, we can calculate the maximum temperature of the recording layer at the center of the spot by the Simple Model. The temperature profile of the recording layer is obtained from the Numerical Model by considering the total specific heat and the latent heat. As a result, the effect of the heat sinking acting as a thermal loss for the hole formation could be minimized by introducing the pulse with the hole formation duration (τ) below the thermal time constant (τ_D) of a dielectric layer. These requirements can be satisfied by using the dielectric thickness of the 2nd ART(Anti-Reflection Trilayer) condition or the dielectric materials with a low thermal diffusivity.

Key Words(중요용어) : Te-based Media(Te계 미디어), Optical Recording(광 기록), Antireflection(반사방지), Ablation(에블레이션), Simple Model, Numerical Model.

1. 서 론

정보처리 시스템에서 정보량이 급격히 증가함에 따라 이를 효과적으로 저장하고 신속하게 처리할 수 있는 기록매질을 찾는 것이 매우 중요하지만 아직도 최적 매질의 선택에 대한 확신이 없는 상태로 많은 연구가 필요하다. 최근, 높은 저장밀도와 저장능력 그리고 빠른 처리속도를 갖는 여러가지의 광정보기록방식중에서 장기간 분서나 화상정보를 기록하여 장기간 손상없이 보존시킬 수 있는 추가기록형(WORM:Write Once Read Memory) 방식¹⁾인 Ablation 광기록 방식에 대해서 광학적 효율을 높일 수 있도록 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 광학적 효율의 개선만으로는 실제 응용시 많은 문제점을 보이고 있어 기록시 나타나는 레이저빔 조사에 의한 박막의 열적 특성에 관한

연구도 필요하게 되어 열적해석을 통한 기록효율의 증진에 대한 연구가 진행되고 있다.

기록층의 hole 형성에 대한 이론이 아직 정립되어 있지 않지만, 레이저빔을 흡수하므로써 박막의 온도가 상승한다는 사실만은 명백하다. Maydan 등²⁾은 hole 형성이 레이저 spot 중심에서 박막이 "evaporation"되는 온도부터 시작한다고 제안하였으며, Terao 등³⁾은 hole 형성이 물질의 "sublimation"과 관계가 있고 깨끗한 hole을 얻기 위해서는 비교적 큰 점도의 매질을 사용하여야 한다고 보고한 바 있다. Miller 등⁴⁾은 hole 형성 과정에 대한 역학적 모델을 제안하였는데, "표면장력(surface tension)"이 hole 형성에 중요한 작용을 한다고 보고하였다. 즉, 레이저빔 조사에 의한 박막내 spot에서의 온도분포기울기에 의해서 발생하는 표면장력기울기와 박막의 점도(viscosity)기울기 그리고 모세압력(capillary pressure)기울기 간의 관계로부터 hole 형성에 대한 에너지 장벽을 고려하였다. 또한 Bell 등⁵⁾과 본 연구진⁶⁾에서는 광학적 효율을 증가시키기 위한 방안으로 반사방지 삼중층 구조

* : 광운대학교 전자재료공학과

접수일자 : 1994년 6월 24일

심사완료 : 1994년 8월 29일

(antireflection trilayer structure : 기록층/유전층/반사층)를 제시하였으며, 그 후 유전층의 열적시상수를 초과하는 레이저 펄스 duration을 선택할 경우, 레이저빔 조사에 의해 생성된 hole 형성에 필요한 열에너지가 반사층으로 이용되는 금속막(Al)으로의 열확산에 의한 heat sinking 효과에 의해서 이러한 반사방지 삼중층 구조로부터 개선된 광학적 효율이 감소됨을 보고하였다. 또한, Cohen등⁷⁾은 이러한 반사층에 의한 heat sinking 효과를 제거할 수 있는 방안을 제안하였다.

그러므로 본 논문에서는 현재까지 광학적 효율만을 고려한 반사방지 삼중층 구조⁸⁾에 Kivits⁸⁾의 이론을 기초로 하여 반사방지 삼중층 구조로부터 개선된 광학적 효율이 열적인 효과에 의해 상쇄되지 않도록 하기 위해 우선 레이저빔 조사시 온도상승을 예측하여 박막의 온도분포를 구한 후 두번째 반사방지 조건을 만족하는 유전층의 두께를 갖는 2nd ART 구조⁹⁾에서의 heat sinking 효과를 고려해 열적손실에 의해 효율이 낮아지는 것을 방지해보기 위해 열적인 해석을 수행하고자 한다.

먼저 Ablation 방식에 의한 광기록 매질의 요건으로는 낮은 용점, 낮은 열확산도 그리고 높은 점도도를 가져야 하며, 기록 및 재생시 레이저에 대한 감도가 크고 수명이 길어야 한다. Te 박막은 낮은 용점(~449.5[°C])과 낮은 열확산도를 가지며, Ar 레이저 파장(488[nm])에서 뿐만 아니라 실제적인 광기록 응용으로 사용된 다이오드 레이저 파장(830[nm]) 부근에서도 높은 광흡수 계수(~4.9 × 10²³[cm⁻¹])를 갖고 있다. 그러나 Te 박막은 습기분위기에서 열화(degradation)가 발생하는 문제점이 있다.

본 연구진에서는 본 논문에 앞서 Te 박막의 열화를 제거할 수 있는 (Te₈₆Se₁₄)₅₀Bi₅₀ 박막을 이용한 Ablation 방식의 광학적 특성을 보고⁶⁾한 바 있으며, 이 때 단일층의 두께는 반사도가 크고 투과도가 비교적 낮은 315[Å] 두께의 기록층을 선택하였다. 삼중층의 경우는 효과적인 반사방지 조건을 위한 기록층의 두께가 27[Å]이었고 유전층의 두께는 1st ART 조건인 경우 1.080[Å], 2nd ART 조건인 경우에는 3,820[Å]이었다. 그리고 반사층(Al)의 두께는 투과도가 5% 미만인 되도록 500~1,000[Å]으로 하였다.¹⁰⁾ 위와 같은 조건에서 단일층은 ~0.4 미만의 대비도값을 나타내며, 삼중층은 대비도를 ~0.9 정도로 향상시킬 수 있다. 컴퓨터 계산에 의한 반사방지 삼중층 구조의 광학적 특성은 hole 형성이 완벽한 경우를 가정한 것이다. 이와 같은 완벽한 hole 형성을 얻기 위해서 레이저

펄스 duration과 레이저 파워에 대한 기록층에서의 열적 특성을 컴퓨터 계산을 통하여 예측하고, 열적 손실로서 작용하는 heat sinking을 제거할 수 있는 조건을 예측하므로써 위에서 제시한 반사방지 삼중층 구조의 향상된 광학적 효율을 그대로 유지할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

2. 이 론

일반적으로 hole 형성은 박막의 부분적인 용융에 의해 진행한다고 가정되고 있으며, 먼저 Simple Model을 이용하여 측면으로의 열적 확산을 무시하는 경우, 박막내의 최대 온도를 근사적으로 계산할 수 있다. 기록층에서의 온도 T와 효율 η는 다음과 같다.⁸⁾

$$T = \eta \frac{APt}{C_1 \pi R^2 h} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{C_1 h}{C_1 h + C_2 l} \quad (2)$$

여기서, A는 흡수도(absorbance), P는 레이저 파워, t는 레이저빔 조사 시간, c는 단위부피당 비열, R은 spot 반경 그리고 h와 l은 각각 기록층의 두께와 열 확산길이를 나타낸다.

다음은 Numerical Model로서 잠열(H₁)과 총비열(C₁)을 고려하는 경우, heat flow equation을 이용하여 기록층의 temperature profile을 계산할 수 있다.⁸⁾

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

여기서, 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_i는 열전도도 이다.

만약 경계면에서 T₁=T₂ 라고 가정한다면, H₁은 기록층의 용융점 부근에서 증가된 비열의 양의 함수로 나타내어지는 잠열을 나타낸다. 그리고 c₁은 기록층의 총비열을 나타낸다.

$$H_1 = \int_{-\infty}^{\infty} c_0 \exp\left[-\left(\frac{T-T_m}{\sigma}\right)^2\right] dT \quad (4)$$

$$c_1 = c_0 + \frac{H_1}{\sigma \sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{T-T_m}{\sigma}\right)^2\right] \quad (5)$$

여기서, T_m 은 기록층의 용융점을 나타내고 σ 는 width parameter를 표시하며, 그리고 co 는 기록층의 증가된 비열을 나타낸다.

표면 장력, 표면 불균일성(surface irregularities) 등과 같은 layer rupture에 대한 큰 에너지 장벽이 존재하기 때문에 박막이 용융되었다라도 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($\lambda = 8,000[\text{\AA}]$)를 최적화시킨 반사방지 삼중층 구조에서 유전층으로 쓰이는 SiO₂의 열확산도(k_D)가 $0.73 \times 10^{-6}[\text{m}^2/\text{s}]$ 일때 1st antireflection 두께($h: 1,080[\text{\AA}]$)인 경우, 열확산에 의해 열에너지가 기록층으로부터 유전층을 통과하여 반사층에 이르는 데 소요되는 시간인 열적 시상수($\tau_D = h^2/k_D$)는 17[nsec]이다. heat sinking을 고려할때 위의 열적 시상수 값은 기록층의 펄스 duration이 약 100[nsec] 정도라고 볼 때 매우 비효율적이지만, 2nd antireflection 두께($h: 3,820[\text{\AA}]$)인 경우는 열적 시상수가 200[nsec]이므로 레이저 펄스 duration 동안 heat sinking을 무시할 수 있다. 그리고 유전층으로 SiO₂ 대신 PMMA의 열확산도는 $0.07 \times 10^{-6}[\text{m}^2/\text{s}]$ 이므로 열확산에 의한 유전층에서의 열적 시상수는 SiO₂를 유전층으로 사용하였을 경우 보다 증가하여 더욱 효율적이다.

그러므로 본 연구에서는 반사방지 조건을 만족하는 삼중층 구조에서 열적 손실로 작용하는 반사층으로의 heat sinking 효과를 무시할 수 있는 2nd ART 구조를 만족하는 유전층의 두께(3,820[\AA])를 선택하였다. 그리고 이러한 heat sinking을 제거할 수 있는 조건 하에서 단일층 구조에 대한 열적 해석을 이용하여 삼중층 구조의 기록층에서의 레이저빔 조사에 의한 hole 형성에 대한 열적 해석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

컴퓨터 계산을 통하여 여러 가지 다른 레이저 파워에서의 레이저 펄스 duration에 따른 박막의 온도 상승과 삼중층 구조에서 레이저 펄스 duration을 달리 했을 때의 유전층 두께에 따른 온도

변화를 예측하였다.

그림 1은 레이저의 파워를 5[mW]로 하고 펄스 duration을 50[nsec], 190[nsec]으로 설정 하였을 때 2nd antireflection 조건(3,820[\AA])을 만족하는 유전층(SiO₂)의 두께에 따른 온도변화를 보여주고 있다. 결과적으로 2nd antireflection 조건을 만족하는 두께의 유전체층을 사용하고 유전체층의 열적 시상수를 넘지 않는 레이저 펄스 duration을 사용하므로써 반사층으로 사용되는 Al으로의 heat sinking을 제거할 수 있음을 보여주고 있다. 여기서 $\Delta T_m(430[\text{K}])$ 과 $\Delta T_b(987[\text{K}])$ 는 실온을 기준으로 하여 온도가 상승하였을 때의 Te 박막의 용융점($T_m=720[\text{K}]$)과 비등점($T_b=1,260[\text{K}]$)을 나타낸다.

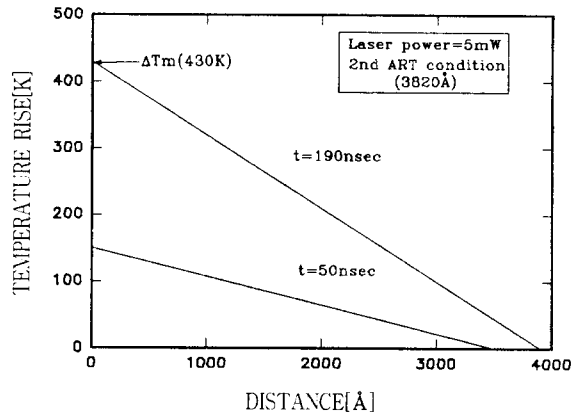


그림 1. 두가지 레이저 펄스 duration에 따른 유전층(SiO₂)의 온도분포

Fig. 1. The temperature distribution in the dielectric layer with two pulse durations.

그림 2는 PMMA 기관위에 기록층의 두께를 31.5[nm]로 설정하고 레이저의 파워를 3[mW]로 설정하여 열의 측면으로의 열확산을 무시하는 경우, 식 (1)과 (2)의 Simple Model을 이용하여 박막내의 온도상승을 나타낸 것이다. 여기서 Te/PMMA 이중층 구조를 사용한 이유는 이론에서 언급한 바와 같이 반사방지 삼중층 구조에서의 heat sinking에 의한 열적 손실을 유전층을 증가시킴으로서 제거하였기 때문에 이중층 구조를 사용하여 Te 기록층에서의 hole 형성에 관한 열적 해석만을 수행한 것이다. 레이저 펄스 duration이 약 200[nsec]에서 온도가 기록층으로 사용되는 Te 박막의 용융점(ΔT_m)에 이르는 것을 알 수 있다.

그림 3은 hole 형성이 박막의 부분적인 용융에 의해 진행된다고 가정하고 측면으로의 열확산을

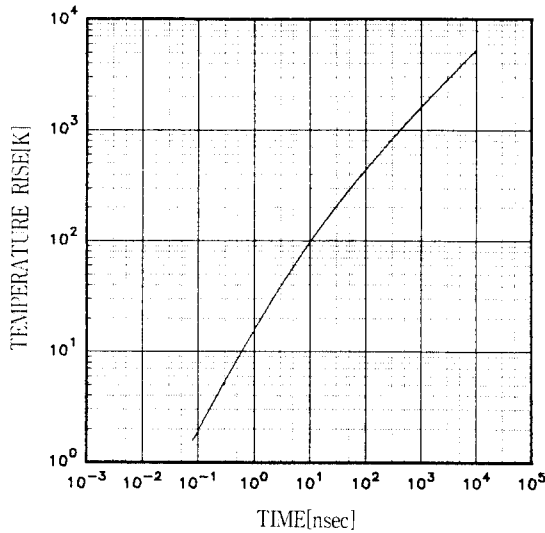


그림 2. 31.5nm Te/PMMA에서의 계산된 온도상승 (laser power : 3mW)

Fig. 2. The calculated temperature rise of a 31.5nm Te on PMMA (laser power : 3mW)

무시할 경우의 Simple Model과 식 (4)와 (5)의 총비열과 용융점에서의 잠열을 고려한 Numerical Model에 의해 표현된 31.5[nm] Te/PMMA 구조에서의 spot 중심온도분포를 각각 나타낸 그림이다. Simple Model의 경우 변곡점이 나타나지 않고 시간에 따라 온도상승이 발생하지만 Numerical Model의 경우, 용융점(ΔT_m) 부근에서 발열현상에 의해 온도가 감소한 후 다시 증가하는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 각각 width parameter가 40[K], 100 [K]일 경우, 박막이 용융됨으로서 박막의 총비열이 증가함에 따라 발생하는 효과를 식 (5)로부터 계산한 것이다. 빔급친 부분은 width parameter가 40K 일 때의 잠열을 나타내고 있으며, 총비열은 박막의 용융점(ΔT_m) 부근에서 급격히 증가함을 알 수 있다.

그림 5는 Simple Model을 이용하여 PMMA 기판위 31.5[nm] 두께의 Te 박막에서 각각 다른 레이저 파워를 선택하였을 경우의 펄스 duration에 따른 spot 중심에서의 온도 상승 관계를 나타낸 그림이다. 레이저 파워와 펄스 duration에 따라 박막의 온도가 급격히 증가함을 보여주고 있다.

그림 5에서 알 수 있듯이 레이저 파워가 낮아도 펄스 duration이 증가하면 spot 중심의 온도가 Te의 용융점에 근접하고, 펄스 duration이 짧지만 레

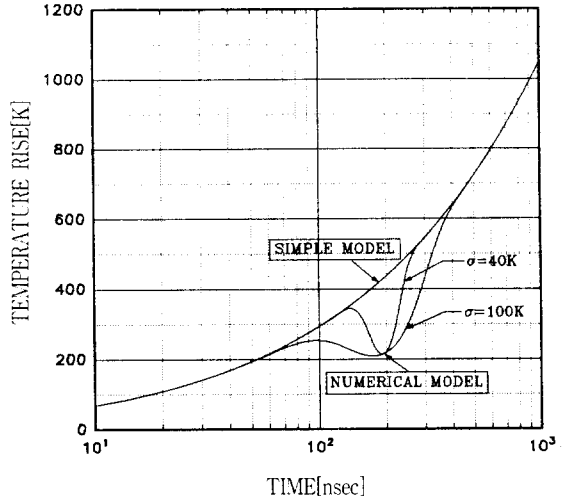


그림 3. 31.5nm Te/PMMA에서의 Simple Model과 Numerical Model을 이용한 시간에 따른 계산된 온도상승 (laser power : 3mW)

Fig. 3. The calculated temperature rise of a 31.5nm Te/PMMA with a time by the Simple Model and Numerical Model (laser power : 3mW).

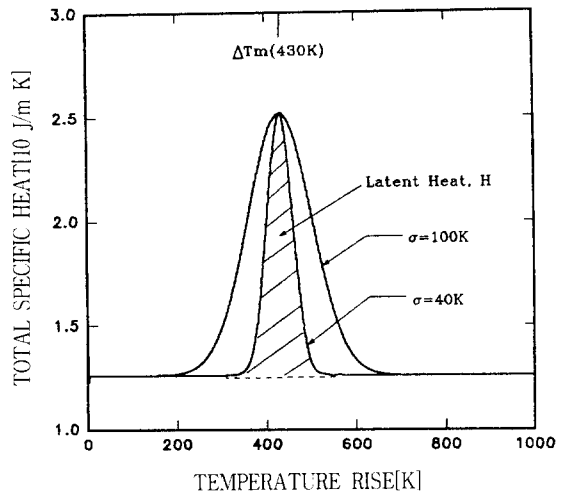


그림 4. Numerical Model을 이용한 총 비열 (with parameter : $\sigma=40K, \sigma=100K$)

Fig. 4. The total specific heat calculated from Numerical Model (with parameter : $\sigma=40K, \sigma=100K$)

이저 파워가 높을수록 spot 중심의 온도는 증가한다. 특히 100[nsec]이하에서 충분한 레이저 파워를 가해주면 Te의 실온을 기준으로 한 비등점(ΔT_b)

인 987[K]에 근접하게 된다. 이 온도영역에서는 hole형성에 대해 evaporation이 중요한 작용을 하는 것으로 예상된다. 박막의 온도가 용융점을 넘어서도 hole이 형성되지 않는 것은 어떠한 에너지 장벽이 존재함을 의미한다. 이것은 용융점에서 용융과정에 대한 제한된 역학적 모델로서 설명될 수 있다. 즉, 레이저빔 조사에 의해서 박막의 온도는 상승하고 어느 순간 spot 중심에서의 온도가 용융점에 이르게 된다. 그러나 용융상 경계에서 물질이동을 하기위해 필요한 온도에 따른 vacancy의 생

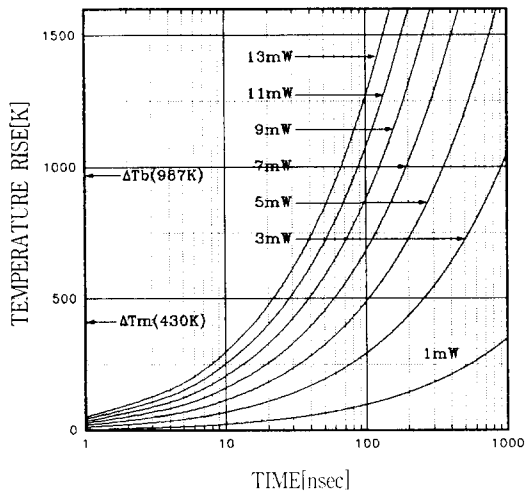


그림 5. 31.5nm Te/PMMA에서의 여러 가지 레이저 파워에 따른 레이저 노출 동안의 온도 상승

Fig. 5. The temperature rise of a 31.5nm Te/PMMA during the laser exposure for various values of the laser power.

성 속도가 높은 열확산도에 의한 용융 온도의 전파 속도보다 느리게 되면 superheating 효과가 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. 이러한 superheating 효과는 레이저 파워가 높고 레이저 펄스 duration이 짧을수록 증대되며, 이러한 superheating 효과에 의해서 hole형성 온도는 레이저 파워가 높고 펄스 duration이 짧을수록 높으며, 레이저 파워가 낮고 펄스 duration이 길수록 낮다.⁸⁾

그림 5의 결과로서 31.5[nm] Te박막의 용융점 (ΔT_m)과 비등점 (ΔT_b)에 이르는 데 필요한 여러

가지 각각의 레이저 파워에 대한 펄스 duration을 컴퓨터 계산을 통하여 구해보면 표 1과 같다.

표 1. 31.5[nm] Te 박막의 용융점 (ΔT_m)과 비등점 (ΔT_b)에 이르는 데 필요한 여러가지 레이저 파워에 따른 펄스 duration

Table 1. The pulse duration of a 31.5[nm] Te-thin film needed to reach the melting (ΔT_m) and boiling(ΔT_b) point for various values of the laser power.

Laser Power [mW]	Pulse Duration[nsec]	
	Melting Point ΔT_m 430[K]	Boiling Point ΔT_b 987[K]
1	1,490	7,411
3	200	894
5	80	346
7	46	189
9	31	121
11	22	86
13	17	65

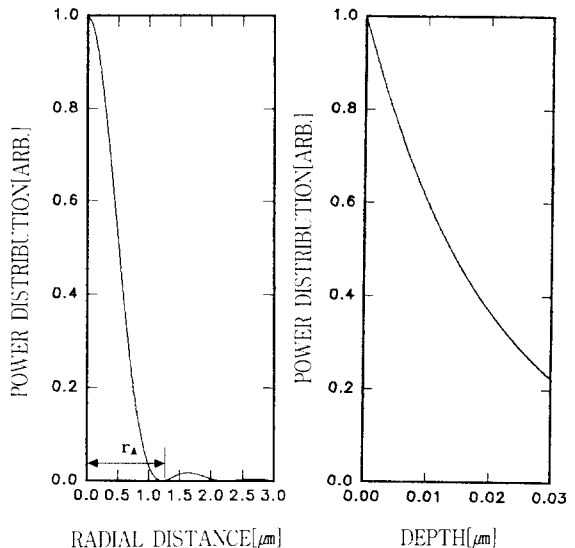


그림 6. 기록층의 r 방향(lateral distance)과 z 방향(depth)에 따른 계산된 파워분포(r_A : first Airy radius)

Fig. 6. The calculated power distribution of the r direction(lateral distance) and the z direction (depth) of the recording layer (r_A : first Airy radius).

그림 6은 박막의 r방향(lateral distance)과 z 방향(depth)의 계산된 파워분포를 나타낸 그림이다. 레이저 파워가 박막을 통과 하면서 r 방향의 파워 분포는 Bessel 분포를 따르며, z 방향의 파워 분포는 지수함수적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 이것을 이용하여 레이저 파워가 박막을 통과하면서 발생하는 온도분포를 구할 수 있다.

그림 7은 레이저빔 조사에 따른 3차원적인 온도 상승을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 spot중심에서 온도가 최대로 되면서 대칭적인 온도 분포를 나타낸다. 그리고 그림 8은 레이저빔 조사 후 기록층의 cooling 곡선을 나타내는 그림이다. 이 때 사용된 레이저 파워는 7[mW]이며, 펄스 duration은 100[nsec]이다. 이 그림에서 레이저빔 조사가 끝난 후 온도가 급격히 감소함을 알 수 있다. 이 때 melt-solid 경계면에서 테(rim)가 형성되며, 일반적으로 테의 높이는 기록층의 두께가 얇을수록, 기록층의 점도가 클수록 그리고 빔의 온도가 작을수록 낮은 값을 갖게 된다.

4. 결 론

이상의 결과 및 고찰로 부터 다음의 결론을 예측할 수 있다. 여러가지 파워 및 펄스 duration에 따른 기록층에서 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 극소화 시킬 수 있다. 즉, 2nd antireflection 두께(3,820[Å])인 경우는 열적시상수가 200[nsec]이므로 기록층의 레이저 펄스 duration이 ~100[nsec] 정도라고 볼 때 이론적으로 heat sinking을 완전히 무시할 수 있다.

본 연구에서는 이론적인 수식과 조건을 통해 위와 같은 결과 및 결론을 도출해 내었지만 최근 실험적으로 hole 형성시기를 측정하기 위하여 oscilloscope를 사용하는 방식이 보고된 바 있으며, 이 방식은 단일층의 경우 hole 형성시 반사도가 감소하고 투과도가 증가하는 시기를 oscilloscope를 통해서 관찰하고, 반사방지 삼중층 구조의 경우는 반대로 hole 형성시 반사도가 증가하고 투과도가 감소하는 시기를 관찰하여 주어진 레이저 파워가 펄스 duration에 따른 hole 형성 시기를 측정하는 방식이다. 이러한 실험적인 결과와 본 논문에서의 컴퓨터 계산을 이용한 결과를 동시에 고려하면

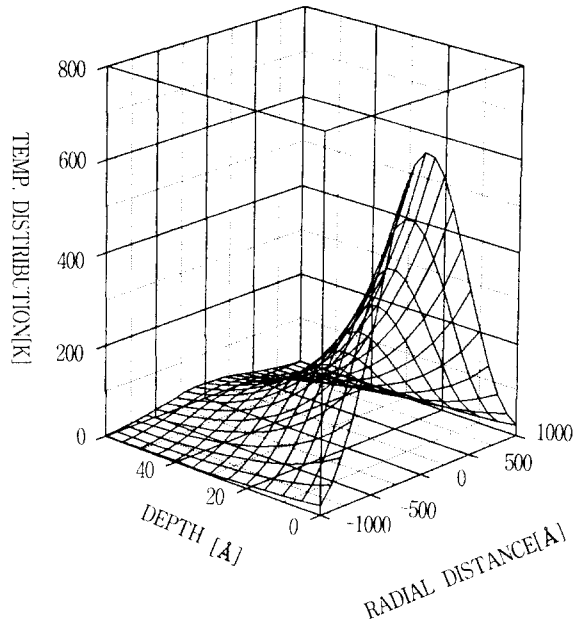


그림 7. 31.5nm Te/TMMA에서의 100nsec의 펄스 duration과 7mW레이저 조사에 따른 3차원 온도상승 곡선

Fig. 7. The 3-dimensional temperature rise curve of a 31.5nm Te on PMMA with a laser irradiation (laser power : 7mW, laser pulse duration : 100nsec).

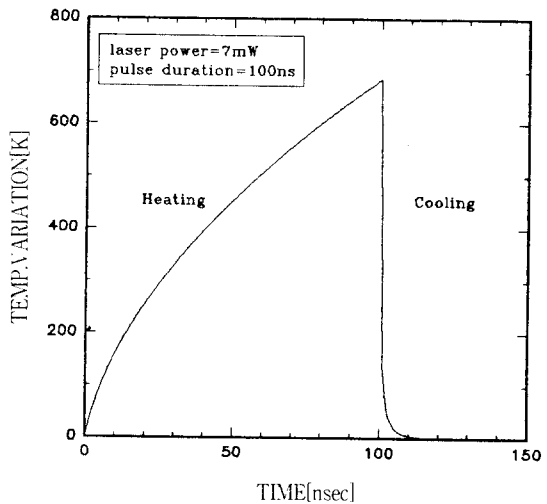


그림 8. 31.5nm Te/PMMA에서의 레이저 조사후 기록층의 온도변화 곡선

Fig. 8. The temperature variation curve of the 31.5nm Te recording layer on PMMA after a laser irradiation.

반사방지 삼중층 구조의 경우 주어진 기록층 두께에서 heat sinking을 제거할 수 있는 조건을 만족하는 레이저 파워가 펄스 duration을 선택하여 반사방지 삼중층 구조의 높은 광학적 효율을 그대로 유지할 수 있도록 hole을 형성시킬 수 있을 것으로 예상되어 더욱 연구가 진행되어야 한다고 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) J. Wrobel, "The Physics of Recording in Write-Once Optical Storage Materials", SPIE Proceedings 420, p.288, 1983.
- 2) D. Maydan, "Micromachining and Image Recording of Thin Films by Laser Beams", Bell Syst. Tech. 50(6), p. 1761, 1971.
- 3) M. Terao et al., "Chalcogenide Thin Films for Laser-Beam Recordings by Thermal Creation of Holes", J. Appl. Phys. 50(11), p. 6681, 1979.
- 4) R. C. Miller et al., Bell Tech. 58, p. 1909, 1979.
- 5) A. E. Bell and F.W. Spong, "High-Performance Te Trilayer for Optical Recording", Appl. Phys. Lett. 34(4), p. 275, 1979.
- 6) 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), p. 106, 1989.
- 7) M.S. Cohen, "Computer Modeling Study of Ablative Optical Recording", Appl. Phys. Lett. 36(12), p. 950, 1980.
- 8) P. Kivits et al., "Superheating of Thin Films for Optical Recording", Appl. Phys. 24, p. 273, 1981.
- 9) H.B. Chung, H.Y. Lee and S.J. Lee, "The Optical Analysis of Te-based ART Structure for the Optical Recording Media", J. OF KIEEM, Vol. 7, No. 3, p. 220, 1994.
- 10) P. Klocek, "Handbook of Infrared Optical Materials", Marcel Dekker, 1991.
- 11) G.M. Blom, "Single Te Films and Te Trilayers for Optical Recording", Appl. Phys. Lett. 36(1), p. 81, 1979.

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.



천석표

1971년 9월 3일생. 1994년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1994년 현재 동 대학원 전자재료공학과 석사과정.



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.