

SIL헤드유사 근접장 시스템 개발을 위한 보호막 설계 및 열해석

Cover Layer Design and Temperature Analysis in Pseudo NFR System Using SIL Head

김경호*, 김수경*, 이승엽†, 이성규**, 박강호**

Kyungho Kim, Sookyung Kim, Seung-Yop Lee, Sung-Q Lee, and Kang-Ho Park

ABSTRACT

Pseudo-Near Field Recording (Pseudo-NFR) system is proposed to prevent contamination and oxidation of media surface occurred in conventional NFR systems. To solve these critical problems of the NFR systems, we investigate the optimal thickness of cover layer for Pseudo NFR. This paper presents the theoretical analysis for cover layer thickness based on the measured length of dust particle and numerical simulation for the temperature distribution using Finite Difference Time Domain (FDTD) method and heat conduction equation. To verify the simulation results, we conduct and compare simulation results in case of far field MO recording and near field MO recording. A measured dust particle length in general environment was mostly less than $20\mu\text{m}$, and the optimal thickness of cover layer is $30\mu\text{m}$ in this case. Based on the designed optimal cover layer thickness, temperature distribution is simulated to have $800\sim 850^\circ\text{C}$.

Key Words : 근접장 기록(Near Field Recording), 유사 근접장(Pseudo NFR), 투명 보호막 (Cover layer), 에바나스цент광(Evanescence Wave), SIL(Solid Immersion Lens), 상변화(Phase Change)

1. 서 론

현재 개발되어 시장에 출시되고 있는 광 기록 장치의 기록 밀도는 $5\text{Gb}/\text{in}^2$ 을 넘어서고 있으며, 특히 청색 레이저를 이용한 단파장 광원 기록, 디스크 기록면을 다층으로 하여 기록하는 다층 기록, 기록 레벨을 2레벨 이상으로 하여 기록하는 다치 기록 등 여러가지 고밀도화 방안이 개발되고 있다. 그러나 이와 같은 새로운 기술 개발에도 불구하고 기록 방식의 물리적인 특성인 기록빔의 직경이 더 이상 줄어들지 않는 빛의 회절 한계로 인하여 \sim 수십 Gb/in^2 이상의 고밀도화는 어려울 것이라고 예측되고 있다. 따라서 현재의 광기록 기술을 비약적으

로 발전시킬 수 있는 기술 개발의 필요성이 대두되고 있다.[1] 이를 위하여 빛의 파장이하의 영역에서 발생하는 에바나스цент광을 이용한 근접장 기록 기술을 이용하여 빛의 회절 한계 이하로 기록하는 고밀도 광기록 개발이 본격화되고 있다. 그러나 근접장 기록 방식은 렌즈의 출사면과 기록면 사이에 공기가 채워지는 간격을 초점 심도보다 짧게하여 이를 액츄에이터 또는 부상형 슬라이더로 제어하는 정밀한 근접접 제어 기술이 필요하며, 수십 나노급의 근접접을 유지해야 하기 때문에 디스크 표면에 오염물질이 생성되거나 스크래치 발생시 빔 스폿의 직경이 매우 작은 경우에는 기록재생이 불가능해진다. 또한, 디스크 표면의 빔조사로 인한 온도 상승으로 겹유지의 열적인 불안정성과 기록막의 산화 문제는 근접장 기술의 상용화에 있어 가장 큰 걸림돌로 작용하고 있다.

따라서 기존의 근접장 기록 방식이 가지는 오염 및 열 문제를 해소하기 위한 방법

† 책임저자 : 서강대학교 기계공학과
E.mail:sylee@sogang.ac.kr

* (주)나노스토리지

** 한국전자통신연구원 (ETRI)
(논문접수일 : 2005년3월30일)

으로 유사 근접장 방식을 이용할 수 있다. 이 방식은 SAIT의 C.W. Lee에 의해 처음으로 제안되었으며, 보호막의 효과와 쓰기/읽기 특성에 대해 연구되었다.[2]

이와 관련된 연구를 살펴보면, SONY에서는 다양한 보호막 두께와 먼지 사이즈에 대한 디스크 표면에서의 데이터 에러 전파와 에러 정정 코딩 능력에 대해 연구하였다.[3] 또한, Kodak에서는 다양한 변수에 따른 온도 특성을 분석해줄을 유도하여 시뮬레이션을 수행하였다.[4] Singapore의 Data storage institute에서는 상변화 방식에서의 해석을 통한 미디어 설계와 온도 분석등을 수행하였다.[5]

따라서 본 연구에서는 근접장 방식에서 발생하는 오염과 열에 의한 표면 산화를 방지하기 위한 조건을 찾기 위해 먼지 분포를 고려한 보호막 두께에 대한 최적 조건을 도출하여 SIL 헤드의 상변화 방식에서의 열해석을 수행하여 온도 특성을 얻고 유사 근접장의 실현 가능성을 검토하고자 한다.

2. 이론적 모델

2.1 SIL 헤드 유사근접장 개념

Fig. 1은 유사 근접장의 개념도를 보여준다. 빔의 출사면의 인접 지역(~수십nm)에서만 존재하는 에바나스센트광을 이용하는 근접장 기록방식에서는 헤드와 매체 사이의 미소 근접갭(~수십nm) 유지가 필수적으로서 헤드와 매체의 기록 재생 동작 중 발생하는 먼지/오염, 굽힘 등에 의한 기록면의 손상, 열에 의한 기록막의 산화문제 해결이 필수적이다. 유사근접장(Pseudo NFR)기록 방식은 상기의 근접장방식의 문제점을 해결하기위해 투명한 보호막이 있는 디스크 표면에 대해 초점 평면(Focal plane)을 이동시켜서 기록하게 된다. 따라서 SIL 헤드의 경우, 수~수십 마이크로의 기록막 위에 투명 보호막을 입혀 디스크 표면으로 입사하는 빔직경을 수백 nm ~ 수십 μm 급으로 키워줌으로서 오염 입자 등의 표면 오염에 대한 문제 및 레이저 광에 의한 표면 산화

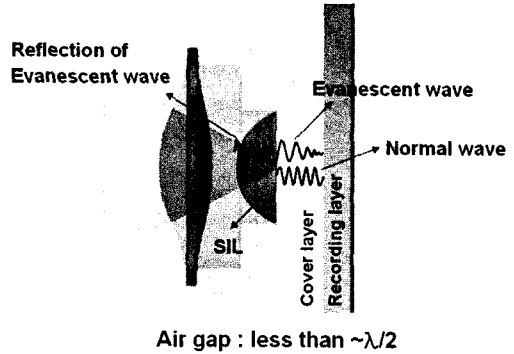


Fig. 1 Pseudo Near Field Recording

현상 등의 열 문제를 해결할 수 있어 상용화에 가장 근접한 방법이라 할 수 있다. 실제로 투명 보호막의 경우, 굴절율 1.5의 UV 수지를 사용하여 스피ن 코팅으로 디스크 표면에 수~수십 μm 두께로 균일하게 코팅하여 사용할 수 있다. 또한, 통상적인 재료로 많이 사용하는 고굴절율재료(LASFN9)의 경우, $n=1.84$, GaP의 경우 $n=3$ 까지 사용할 수 있다. 한편, 고굴절율 유리 재료 S-LAH79인 경우, $NA_{eff}=1.8$ 까지 구해지며, 405nm 파장의 청색 레이저를 사용하면 $\sim 100Gb/in^2$ 의 밀도 구현도 가능한 기술이다.

2.2 투명 보호막 조건

2.2.1 먼지 분포

본 연구에서는 유사근접장 방식에 있어 보호막의 두께가 두꺼워지게 되면, 에바나스센트광의 효과가 없어지게 되어 근접장 방식의 효과가 없어지게 되고, 반대로 보호막의 두께가 너무 얇게 되면 오염과 표면 산화 문제가 발생하게 된다.

따라서 유사근접장은 보호막 두께 결정이 중요한 요소가 된다. 이를 위해 먼지와 스폿 사이즈에 대한 분포를 알아보기 위해 3.5" 디스크를 일반적인 사무실의 먼지 환경에서 100일을 방치하였을 때, Fig.2와 같은 분포를 나타내게 된다.

먼지 측면에서 보호막 두께에 대해 고려하였을 때, Fig.2의 결과로부터 먼지의 대부분이 $\sim 10\mu m$ 이하이기 때문에 최대 먼지 크

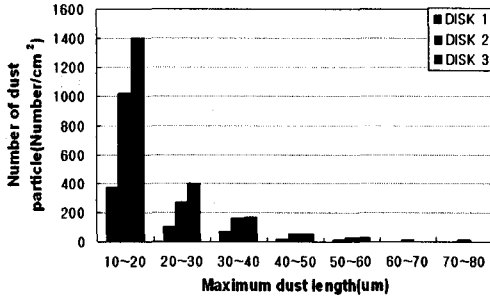


Fig. 2 Dust particle distribution

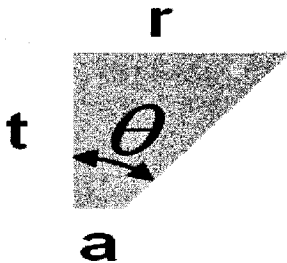


Fig. 3 The shape of optical incident beam

기를 20 μ m로 고려하였을 때, 보호막 표면에 맺히는 스폿 사이즈가 최소 20 μ m 이상으로 확대될 필요가 있게 된다. 따라서 이에 대한 해결을 위해 스폿 사이즈에 대한 수식적 접근이 필요하게 된다.

2.2.2 투명 보호막 두께와 스폿 사이즈

Fig.3과 같은 형상의 광학 빔이 입사될 때 개구수와 굴절율에 관한 광학 식을 θ 에 대해 다시 정리하면 식(1)과 같다.

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{NA}{n}\right) \quad (1)$$

스폿 사이즈와 스폿 면적을 구하기 위해 스폿 반경과 보호막 두께에 대한 관계식에서 식(2), (3)과 같은 결과를 얻을 수 있다.

(1) 보호막 표면에서의 스폿 사이즈

$$r = t \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{NA}{n}\right)\right) \quad (2)$$

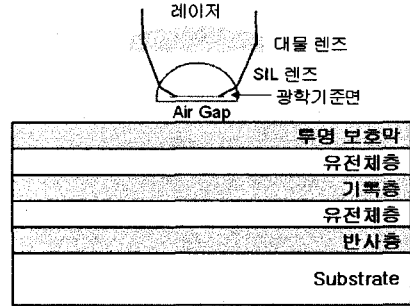


Fig. 4 Optical system and Disk structure used to Simulation

(2) 보호막 표면에서의 스폿 면적

$$S = \pi r^2 = \pi \left(t \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{NA}{n}\right)\right) \right)^2 \quad (3)$$

2.3 열해석 프로그램 알고리즘

2.3.1 흡수 광 에너지 계산을 위한 수치해석

광학 해석에서는 근접장 렌즈와 에어갭을 포함하여 하나의 계로 하여 수치해석을 수행하였다. 그리고 대물렌즈에 입사하는 광은 가우시안 분포이며, 위상은 렌즈와 레이저 소스 간의 거리가 충분하다고 보아 평면 위상을 가정하였다.

대물렌즈에서 초점으로 휘어진 광은 근접장 렌즈를 거쳐 다층 기록막에 입사한다. 광학적 계산의 시작은 Fig.4와 같이 근접장 렌즈의 초점면으로부터 5파장 떨어진 거리에 위치한 기준면(계산 시작면)으로부터 시작한다. 렌즈로부터 기록면까지의 빔 전파는 일반적인 시간영역 유한차분법(FDTD)의 방식을 따라 계산하여 기록면에서의 빔 분포를 구하였다.

일반적인 경우, 입사광의 k 벡터는 x, y, z 세 좌표 성분을 모두 가지나, x' 좌표를 이용하면 $k_x=0$ 이 되어, $k_y=k_0 \sin \theta$ 이 된다. 또한, 경계에서의 파수 접선 성분의 연속성으로 모든 층에서의 k_y 는 같은 값을 갖는다. 이에 따라 층의 특성에 따라 수직 방향의 파수만을 결정하면 각 층에서의 전자기장 모드를 구할 수 있으며, 이 경우 특성 방정식은 식(4)과 같으며, ϵ 는 유전율 텐서를 나타낸다. 또한, 식(4)의 해는 식(5)와

같다.

$$\left[\frac{k_z}{k_0} \right]^4 - 2(\epsilon - \sin^2 \theta) \left[\frac{k_z}{k_0} \right]^2 + (\epsilon - \sin^2 \theta)^2 = 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} k_z^{(1,2)} &= -k_0 \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta} \\ k_z^{(r1,2)} &= -k_0 \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $k_z^{(1,2)}$ 는 기록 미디어 안으로 입사하는 빔을 나타내고, $k_z^{(r1,2)}$ 는 경계에서 반사되는 빔을 나타낸다. 먼저 $k_z = k_z^{(1,2)}$ 일 때 Helmholtz 방정식은 식(6)과 같다.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin^2 \theta & -\sin \theta \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta} \\ 0 & -\sin \theta \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta} & \epsilon - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = 0 \quad (6)$$

전자기장의 분포는 초기 입사광의 입사각, 층 두께 및 유전율 텐서를 알면 결정될 수 있는 각각의 평면파에 대한 고유해로서 실제적인 값은 단일층에 대하여 독립적으로 결정될 수 없으며 각 층의 경계조건을 이용하여 구할 수 있다. 따라서 경계조건을 적용하기 위해서는 임의의 점에서 전체 전자기장을 계산하여야 하며, 이는 계산된 4개 모드의 해를 모두 더하여 식(7)과 같이 얻어진다.

$$E = C^{(l)} \begin{bmatrix} E_x^{(l1)} \\ E_y^{(l2)} \end{bmatrix} + C^{(r)} \begin{bmatrix} E_x^{(r1)} \\ E_y^{(r2)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서 경계 $z=z_n$ 에서의 반사계수 행렬 R_n 이라 할 때 전기장을 식(8)과 같이 표현할 수 있다.

$$E = [C^{(l)} + C^{(r)} R_n] \begin{bmatrix} E_x^{(l1)} \\ E_y^{(l2)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

같은 방법으로 임의의 점에서의 자기장은

식(9)과 같이 계산된다.

$$H = [D^{(l)} + D^{(r)} R_n] \begin{bmatrix} E_x^{(l1)} \\ E_y^{(l2)} \end{bmatrix} \quad (9)$$

이 결과를 이용하여, 층의 경계 $z=z_n$ 를 기준으로 하여 전기장을 표현할 때 $z=z_n$ 보다 위의 점의 전자기장은 식(10)과 같다.

$$\begin{aligned} E_{z_n^+} &= [C^{(l)} + C^{(r)} R] \begin{bmatrix} E_x^{(l1)} \\ E_y^{(l2)} \end{bmatrix}_n \\ H_{z_n^+} &= [D^{(l)} + D^{(r)} R] \begin{bmatrix} E_x^{(l1)} \\ E_y^{(l2)} \end{bmatrix}_n \end{aligned} \quad (10)$$

$z=z_{n-1}$ 보다 조금 아래 점의 전자기장은 거리에 대한 z 방향 위상 변화를 고려하여 식(11)과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} E_{z_{n-1}^-} &= [C^{(l)} P^{(l)} + C^{(r)} P^{(r)} R] \begin{bmatrix} E_x^{(l1)} \\ E_y^{(l2)} \end{bmatrix}_n \\ H_{z_{n-1}^-} &= [D^{(l)} P^{(l)} + D^{(r)} P^{(r)} R] \begin{bmatrix} E_x^{(l1)} \\ E_y^{(l2)} \end{bmatrix}_n \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 상수 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C^{(l)} = C^{(r)} &= \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{\epsilon} - 1}} \\ \frac{\sin^2 \theta}{\epsilon} - 1 & 1 \end{bmatrix} \\ D^{(l)} &= \begin{bmatrix} -\sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{\epsilon}} - 1 k_z^{(l1)} + \frac{\sin \theta \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta + \epsilon \sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{\epsilon} - 1}}}{\epsilon \sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{\epsilon} - 1}} k_y, k_z^{(l1)} \end{bmatrix}_r \\ D^{(r)} &= \begin{bmatrix} -k_z^{(r2)} - \frac{\sin \theta}{\epsilon - \sin^2 \theta} \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta - \epsilon \sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{\epsilon} - 1}} k_y, -\frac{1}{\sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{\epsilon} - 1}} k_z^{(r2)} \end{bmatrix} \\ D^{(l)} &= \begin{bmatrix} -\sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{\epsilon}} - 1 k_z^{(l1)} - \frac{\sin \theta \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta + \epsilon \sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{\epsilon} - 1}}}{\epsilon \sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{\epsilon} - 1}} k_y, k_z^{(l1)} \end{bmatrix}_r \\ D^{(r)} &= \begin{bmatrix} -k_z^{(r2)} + \frac{\sin \theta}{\epsilon - \sin^2 \theta} \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta - \epsilon \sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{\epsilon} - 1}} k_y, -\frac{1}{\sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{\epsilon} - 1}} k_z^{(r2)} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

여기서 투과 및 반사 빔의 위상변화는 식(12)과 같으며, d_n 은 n 번째 층의 두께이다.

$$P^{(n)} = \begin{bmatrix} \exp(-jk_z^{(n)}d_n) & 0 \\ 0 & \exp(-jk_z^{(n)}d_n) \end{bmatrix}$$

$$P^{(n)} = \begin{bmatrix} \exp(jk_z^{(n)}d_n) & 0 \\ 0 & \exp(jk_z^{(n)}d_n) \end{bmatrix} \quad (12)$$

위 식과 $z=z_n$ 경계에서 접선성분 전자기장의 연속조건을 이용하여 반사계수 행렬을 식(13)과 같이 구할 수 있다.

$$R_n = [C_n^{(r)} + D_n^{(r)}]^{-1} [D_n^{(l)} - F_{n+1}C_n^{(l)}] \quad (13)$$

$$F_{n+1} = [D^{(l)}P^{(l)} + D^{(r)}P^{(r)}R]_{n+1} [C^{(l)}P^{(l)} + C^{(r)}P^{(r)}R]_{n+1}^{-1}$$

광기록 디스크에서는 대부분의 광이 기록층 및 반사층에서 흡수되어 마지막 층인 기관층의 광 강도는 무시할 수 있는 점을 고려하면, 기관층에서의 반사계수를 영으로 가정할 수 있다. 따라서 각 층의 모드 반사도는 마지막 층의 값을 영으로 하여 순차적으로 계산하였다.

이를 이용하여 기록층에서의 흡수 에너지 계산은 먼저 기록층까지 투과되는 광을 구하고, 이 광 에너지가 기록층을 나갈 때 얼마나 감소하였는가를 계산하면 된다. 이 계산을 위해서 층 경계 $z=z_n$ 에서의 투과 계수를 이용하며, 투과 계수 행렬을 식(14)과 같이 정의한다.

$$\begin{bmatrix} E_x^{(1)} \\ E_y^{(2)} \end{bmatrix}_{n+1} = T_n \begin{bmatrix} E_x^{(1)} \\ E_y^{(2)} \end{bmatrix}_n \quad (14)$$

$$T_n = [C^{(l)}P^{(l)} + C^{(r)}P^{(r)}R]_{n+1}^{-1} [C^{(l)} + C^{(r)}R]$$

따라서 기록 디스크로의 입사 전장을 E_0 라 하면, n 번째 층의 입사 전장은 식(15)과 같다.

$$\begin{bmatrix} E_x^{(1)} \\ E_y^{(2)} \end{bmatrix}_n = T_{n-1} \cdots T_2 T_1 T \begin{bmatrix} E_x^{(1)} \\ E_y^{(2)} \end{bmatrix}_{n_0} \quad (15)$$

n 번째 층에서의 전기장은 투과 및 반사 모드를 합한 것으로 식(16)과 같이 표현된다.

$$E = \sum_{m=1}^2 E^{(m)} \exp\{j[k_0 \sin \theta y + k^m(z - z_n)]\}$$

$$+ \sum_{m=1}^2 E^{(m)} \exp\{j[k_0 \sin \theta y + k^m(z - z_n)]\} \quad (16)$$

모든 평면파에 대한 결과를 푸리에 변환을 통하여 중첩시키면 n 층에서의 전자기장의 분포를 계산할 수 있다. 이러한 광분포를 이용하여 n 층에서의 에너지 흐름(Poynting 벡터)은 식(17)으로 계산할 수 있다.

$$S = \frac{1}{2} E \times H^* \quad (17)$$

기록층에서 수평 방향의 파수는 수직 방향의 파수에 비하여 무시할 정도로 작으므로, 수직방향 Poynting 벡터의 변화만을 고려하여 단위 면적 당 흡수된 에너지(Q)는 식(18)과 같다.

$$Q \cong (z_{p-1} - z_p) [S(z_{p-1}) - S(z_p)] \cdot e_z \quad (18)$$

이 결과를 이용하여 기록층에서 흡수된 에너지 분포를 구할 수 있다.

2.3.2 광 흡수에 의한 기록층의 열 해석

본 절에서는 앞 절에서 계산된 기록층에서의 흡수 에너지에 의한 기록막에서의 온도분포를 열확산 방정식의 수치해석으로 계산한다. 열확산 방정식은 식(19)과 같으며, ρ 는 밀도, C 는 단위 체적 당 비열, K 는 열전도도, $D=K/C$ 를 나타낸다.

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (KVT) + Q$$

$$T_{\infty} = T_{amb} \quad (19)$$

이 식의 해석에서 시간과 정밀도의 상충 문제를 보완하기 위하여 본 해석에서는 차분 방정식 우변의 항에 explicit(t)와 implicit(t+Δt)를 혼합하여 계산하는 ADI(Alternating Direction Implicit) 방법을 이용하였다. 이 방법은 하나의 시간 스텝을 삼등분하여, 각 서브 스텝에서 x, y, z 방향 중 하나의 편미분만을 implicit하게 적용한다. 즉, 한 번의 서브 스텝에서는 한 방향으로의 열 확산만을 고려한다. 이 방법을 사용할 경우 수식은 3배로 늘어나지만 행렬이 tri-diagonal 형태가 되어 역행렬의 계산이 간단하므로 계산 시간을 줄일 수 있다. ADI방법을 적용한 차분 열전도 방정식은 식(20)과 같다.

$$\frac{T_{x,y,z}^{t+\Delta z} - T_{x,y,z}^t}{\Delta z} = D \frac{T_{x,y,z+\Delta z}^{t+\Delta z} - 2T_{x,y,z}^{t+\Delta z} + T_{x,y,z-\Delta z}^{t+\Delta z}}{(\Delta z)^2}$$

$$\frac{T_{x,y,z}^{t+\Delta y} - T_{x,y,z}^t}{\Delta y} = D \frac{T_{x,y+\Delta y,z}^{t+\Delta y} - 2T_{x,y,z}^{t+\Delta y} + T_{x,y-\Delta y,z}^{t+\Delta y}}{(\Delta y)^2}$$

$$\frac{T_{x,y,z}^{t+\Delta x} - T_{x,y,z}^t}{\Delta x} = D \frac{T_{x+\Delta x,y,z}^{t+\Delta x} - 2T_{x,y,z}^{t+\Delta x} + T_{x-\Delta x,y,z}^{t+\Delta x}}{(\Delta x)^2} \quad (20)$$

여기서 다층막 디스크의 경우 각 층의 두께가 다르므로 셀의 크기가 달라지게 된다. 따라서 ADI 수식에 변형을 주어 y=x이나 z≠y가 되어 셀이 정육면체가 아니며 각 층마다 z방향 셀의 크기가 다르게 설정된다.

$$ax_0 T_{x-\Delta x,y,z}^{t+\Delta x} + ax_1 T_{x,y,z}^{t+\Delta x} + az_2 T_{x+\Delta x,y,z}^{t+\Delta x} = T_{x,y,z}^t + q(x,y,z)$$

$$ay_0 T_{x,y-\Delta y,z}^{t+\Delta y} + ay_1 T_{x,y,z}^{t+\Delta y} + az_2 T_{x,y+\Delta y,z}^{t+\Delta y} = T_{x,y,z}^t + q(x,y,z)$$

$$az_0 T_{x,y,z-\Delta z}^{t+\Delta z} + az_1 T_{x,y,z}^{t+\Delta z} + az_2 T_{x,y,z+\Delta z}^{t+\Delta z} = T_{x,y,z}^t + q(x,y,z) \quad (21)$$

여기서 상수들은 다음과 같으며, 흡수 에너지는 각 서브 스텝에서 같으므로 q=Q/3로 하였다.

$$ax_0 = \left(\frac{-D \cdot \Delta x}{\Delta x^2} \right), \quad ax_1 = \left(\frac{2D \cdot \Delta x}{\Delta x^2} + 1 \right), \quad ax_2 = \left(\frac{-D \cdot \Delta x}{\Delta x^2} \right)$$

$$ay_0 = \left(\frac{-D \cdot \Delta y}{\Delta y^2} \right), \quad ay_1 = \left(\frac{2D \cdot \Delta y}{\Delta y^2} + 1 \right), \quad ay_2 = \left(\frac{-D \cdot \Delta y}{\Delta y^2} \right)$$

$$az_0 = \left(\frac{-2D \cdot \Delta z}{\Delta z_1 \cdot (\Delta z_1 + \Delta z_2)} \right), \quad az_1 = \left(\frac{2D \cdot \Delta z}{\Delta z_1 \cdot \Delta z_2} + 1 \right), \quad az_2 = \left(\frac{-2D \cdot \Delta z}{\Delta z_2 \cdot (\Delta z_1 + \Delta z_2)} \right)$$

$$q(x,y,z) = \frac{1}{3} \frac{\Delta t}{C} Q(x,y,z)$$

이상의 결과를 행렬로 표현하면 식(22)과 같으며, 상수 행렬은 다음과 같다.

$$[T_z] = [A_z]^{-1} B_z \quad (22)$$

$$A_z = \begin{bmatrix} az_1 & az_2 & 0 & 0 & \bullet & 0 & 0 \\ az_0 & az_1 & az_2 & 0 & \bullet & 0 & 0 \\ 0 & az_0 & az_1 & az_2 & \bullet & 0 & 0 \\ 0 & 0 & az_0 & az_1 & \bullet & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bullet & az_1 & az_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bullet & az_0 & az_1 \end{bmatrix}$$

$$B_z = \begin{bmatrix} T'_{x,y,1} - az_0 T_o + q_{x,y,1} \\ T'_{x,y,2} + q_{x,y,2} \\ T'_{x,y,3} + q_{x,y,3} \\ \bullet \\ T'_{x,y,N-2} + q_{x,y,N-2} \\ T'_{x,y,N-1} + q_{x,y,N-1} \\ T'_{x,y,N} - az_2 T_o + q_{x,y,N} \end{bmatrix}$$

계수 행렬의 형태가 tri-diagonal 형태이므로 역 행렬을 구하기가 용이하여 해석 시간이 단축된다. 이 계산을 같은 방법으로 x, y에 대하여 순차적으로 각 서브스텝 동안 계산하면, 각 방향으로 확산된 온도 분포를 계산할 수 있다.

이상의 방법을 이용하여 디스크에 대해 3차원 열확산 방정식을 수치 해석적으로 풀게 되면 기록층에서의 온도 분포를 얻을 수 있다.

3. 연구 결과 및 토의

3.1 투명 보호막 최적 조건 도출

식(3)에 렌즈 굴절율 1.5, 개구수 0.85를 대입하여 해석하여 Fig.5의 결과를 얻었다. 이 결과로부터 먼지를 고려한 스폿 사이즈 크기를 20μm가 되도록 정하면 그에 필요한 투명 보호막의 두께는 약 30μm가 되어야 함을 알 수 있다. 따라서 보호막 두께에 대

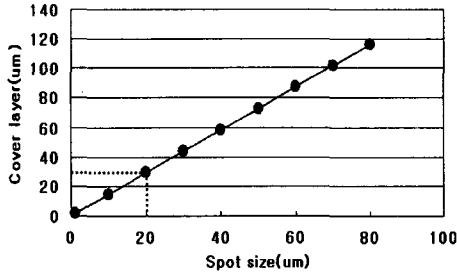


Fig. 5 Cover layer thickness VS. spot size

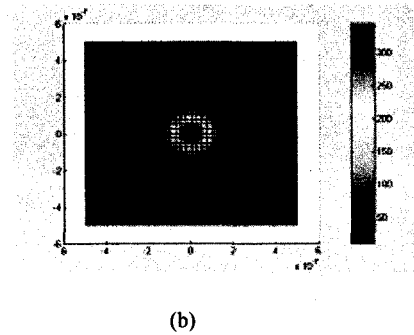
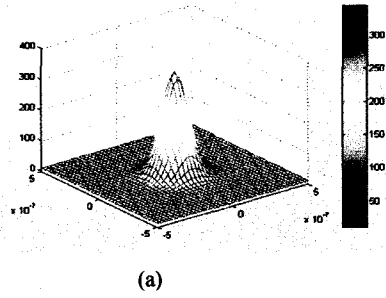


Fig. 7 Recording layer temperature for NFR MO (SIL head)
(a) 3 dimension (b) 2 dimension

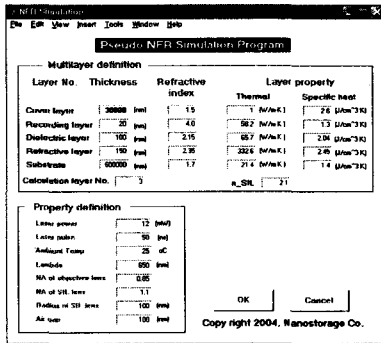


Fig. 6 GUI Simulation Program

(a) Main Window (b) Graphic mode Window

한 다음 질에 열해석 수행을 통해 상변화 방식에서의 온도 분포에 대한 타당성 검토를 수행하였다.

3.2 열해석 프로그램

해석 프로그램은 Fig.6과 같이 사용자 편의 제공을 위한 GUI 프로그램 작업으로 수행되었고, 해석에 필요한 정보를 사용자가 입력하게 되어 있는 변수 입력창과 해석 결과를 원하는 형태로 볼 수 있는 그래픽 모드 입력창으로 나누어진다.

3.3 열해석 프로그램 검증

Table 1 INPUT Parameters

	Far-Field	Near Field
Laser Power	9mW	9mW
n_SIL	1.0	1.8
NA_eff	0.6	1.1
λ	830nm	650nm

해석 결과에 대한 검증을 수행하기 위해 M. Mansuripur[6]와 H.R.Oh[7]의 광자기 기록에 있는 참고 문헌 입력값을 넣어서 기록층의 최대 온도 분포를 비교해 보았다. 즉, 직접적인 비교가 가능한 원거리와 근접장 광자기 해석을 위한 변수를 본 연구의 해석과정에 입력하여 동일한 결과가 도출되는가를 분석하였다. 이 해석을 위해 사용

Table 2 Program Verifications

	Reference		Simulation	
	Far-field MO[6]	NFR MO[7]	Far-field MO	NFR MO
Temperature	195 °C	300~350 °C	198 °C	324 °C

한 변수값은 Table 1과 같으며, 이 해석 결과 기록층의 최대 온도가 198 °C 가우시안 분포를 나타내었다.

이에 대해 M. Mansuripur와 동일 조건에서의 해석결과는 195 °C로 두 해석 결과는 해석 오차 범위 내에서 동일하다고 할 수 있다. 또한, SIL 헤드 근접장 광자기 기록의 경우도 수행하여 Fig.7과 같은 결과를 얻었다. 이 경우, H.R.Oh와 동일한 조건으로 수행하여 H.R.Oh의 결과인 300~350 °C와 동일 범위인 324 °C의 결과를 얻었다. 이 결과들을 정리하면 Table 2와 같다. 따라서 본 연구에서 이용하는 해석 도구로 신뢰할 수 있음을 알 수 있다.

3.4 투명 보호막 최적 조건에서의 열해석

Fig.8과 같이 SIL 헤드 물성치와 미디어 물성치, 레이저 파워, 시간등을 입력하여 해석하였다. 그 결과 Fig.9와 같이 기록층에서의 최대 온도는 약 800~850 °C가 나오며, 상변화 방식의 기록층이 상변화를 일으키기 위해 최소 600 °C 이상이어야 함으로 이 경우 충분히 상변화를 일으켜 기록할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 유사근접장의 실현 가능성을 검증하기 위해 일반 환경에서의 먼지 분포를 고려하여 투명 보호막의 최적 두께인 30 μm를 설계하였으며, 이를 이용하여 상변화 방식에서 기록층의 상변화를 일으켜 기록이 가능한지의 여부와 온도분포가 너

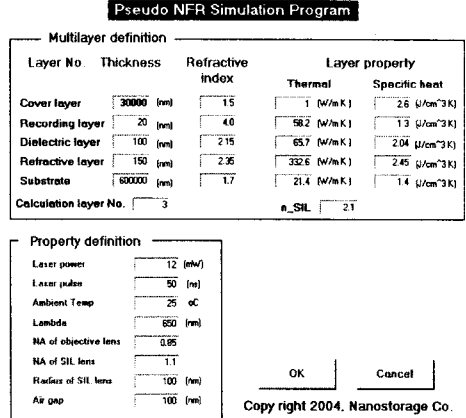


Fig. 8 Input Parameters used to Simulation

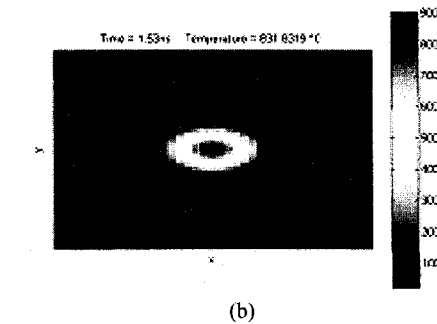
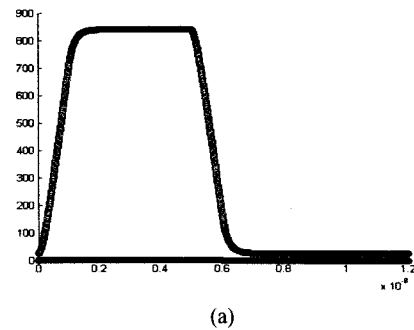


Fig. 9 Temperature distribution
(a) Maximum centerline temperature profile
(b) Temperature of recording layer

무 높아 산화를 일으킬 수 있는지에 대한 판단이 필요하게 된다. 따라서 이러한 수치를 이용하여 해석한 결과 800~850 °C의 최대 온도 분포를 나타내기 때문에 상변화를 일으켜 기록이 가능하며, 또한, 일반적인 근접장에서의 온도 분포보다 낮다는 것을 알 수 있다. 따라서 근접장 실현에 있어 최대 걸림돌인 먼지와 산화물체를 해결할 수 있는 방안으로 유사근접장이 사용될 수 있

음을 본 연구를 통해 알 수 있다. 그리고 본 연구를 통해 개발된 열해석 프로그램은 근접장 연구에 있어 해석 프로그램으로서 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 2004년도 산업자원부 신기술 융합사업 나노광정보 저장기술 개발과제에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 2000, "Optical memory executive forum", Japan, 10th.
- [2] C.W. Lee, 1999, "Signal Properties of Near Field Optical Disk Drive Using a Cata-dioptic Optical System", ODS'99, pp.184-185.
- [3] Tetsu Watanabe, Kimihiro Saito, Katsuhiro Seo, Tamotsu Yamagami, Goro Fujita, et al, 2003, "Study of Error Propagation due to Dust for thin-cover Coat Disk Systems", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42, pp.965-967.
- [4] Brian Josef Bartholomeusz, 1988, "Thermal response of a laser-irradiated metal slab", J. Appl.Phys. Vol.64, No.8, pp.3815-3819.
- [5] R.Zhao, Lim, K.G, Liu, J., Ho, J.J., Chong, T.C., et al, 2000, "Computer-aided Design and Analysis of Rewritable Phase-Change Optical Disk", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.39, pp.3458-3462.
- [6] M. Mansuripur, 2003., "The Physical Principles of Magneto-optical Recording", Cambridge University Press.
- [7] H.R.Oh,2002,"A Study on Near-Field MO Recording And its Density Improvement", Ph.D Thesis, KAIST.
- [8] J.L. Kann, Tom D. Milster, F.F. Froehlich, Richard W. Ziolkowski, and J. B. Judkins, 1997, "Heating mechanism in a near-field optical system", Applied optics Vol.36, No.24, pp.5951-5958
- [9] Tom D. Milster, Joshua S. Jo, Kusato Hirota, Kei Shimura, and Yan Zhang, 1999, "The Nature of the Coupling Field in Optical Data Storage Using Solid Immersion Lenses", Jpn. J. Phys. Vol.38, pp.1793-1794.
- [10] Korea Research Council of Science & Technology, 2002, "High efficiency data processing and data storage device technology".
- [11] S.K. Kim, J.H. Kim, S.Y. Lee, and Y.J.Choi, 2002, "Fundamentals and applications of data storage", Hongrung Science Press.
- [12] S.K. Kim, S.I. Kang, Y.S. Kim, Y.K.Kim, and J.H. Kim, 2003, "The latest optical data storage technology", Munundang.