

본 논문에서는 광학적으로 높은 성능을 가지며 조립 과정에서 합리적인 공차를 가진 실용적인 부상형 광학 헤드(OFH)를 만들기 위해서, 효율적인 구조의 헤드 설계와 헤드의 광학적 성능에 대해서 연구하였다. OFH를 설계할 때는 생산성, 성능, 신뢰성과 같은 요소들 고려하여 슬라이더의 구조를 설계하였다. 그리고 안정적이고 신뢰할 수 있는 고성능의 부상형 광학헤드를 얻기 위해서, 공기배어링 표면(ABS), 광자기방식 기록용 코일, 광학 픽업(OPU), 서스펜션, 디스크 미디어를 설계 및 제작하였다. 또한 고NA의 광학계를 탑재한 부상형 광학헤드의 기본적인 부상 특성과 광학적 성능을 평가하였다.

위해서 OFH가 매우 중요하다. 이러한 부상형 헤드는 하드디스크의 슬라이더와 매우 유사하지만, 레이저 다이오드에서 디스크로, 또는 디스크에서 포토 다이오드로 빛을 투과시키는 광학계를 가지고 있다. 따라서 OFH는 쓰기/읽기 중에 안정적으로 부상하면서 높은 S/N의 근접장광 신호를 낼 수 있는 기계적, 광학적 성능을 가져야 한다.

또한 OFH의 질량은 광학계의 질량이 추가되면서 하드디스크의 슬라이더에 비해서 훨씬 무겁다. 일반적으로 대물렌즈(OL)과 SIL은 기계 가공이나 성형으로 만들어 상대적으로 크기 때문이다. 그러므로 OFH는 탑재 중에도 불안정한 부상을 하지 않으면서 무거운 광학 부품들을 탑재할 수 있도록 효과적으로 설계되어야 한다.

특집 ─ 마이크로그래프 메모리와 근접장 메모리

근접장 광기록용 부상형 광학헤드의 설계와 특성 평가

Optical flying head for near field recording

김수경*, 김영식*, 박진우*, 김진용*, 김진홍**

1. 서론

대물 렌즈와 SIL이 집적된 효율적인 OFH (optical flying head)를 만들기 위해서 많은 연구가 진행되었으며, 최근에는 실용적인 측면에서 SIL(solid immersion lens) 광학계에 기반을 둔 두 가지의 OFH를 제안하였다^{1,2}.

디스크 미디어의 간격이 좁고 빠른 데이터 전송속도를 가진 SIL 기반의 근접장광 기록 시스템을 제작하기

생산성 측면에서, OFH는 조립할 때 광학적으로 정렬을 쉽게 할 수 있어야 하며, 또한 효과적으로 OPU(optical pick-up unit)에 결합되어 출력 감소나 잡음이 생기지 않도록 설계되어야 한다.

성능 측면에서는, 부상하거나 트랙킹할 때 안정성을 가져야 하므로 OFH의 구조는 가볍고 단순한 것이 좋다. 그리고 고밀도의 저장용량을 갖기 위해서, OFH는 고해상도의 광학계를 사용해야 하며 광학 부품을 가공하고 조립할 때의 공차를 보정할 때 민감해야 한다.

* LG 전자 디지털 미디어 연구소

** LG 전자기술원

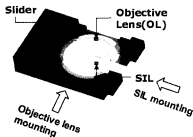


그림 1. 간 흡출 가진 OFH의 조립도

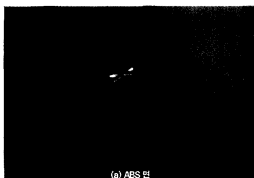


그림 2. 간 흡출 가진 OFH의 사진



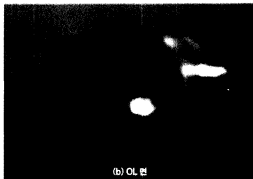
그림 2. 간 흡출 가진 OFH의 사진

신뢰성 측면에서는, OFH와 디스크는 충분한 내구성을 가져야 하며 오염에 대해서 강건하고 쓰기/읽기에 안정성을 가져야 한다.

본 논문에서는 실용적으로 기계적, 광학적 성능을 낼 수 있는 두 가지의 효과적인 OFH 구조를 제안하였다. 그리고 ABS (air-bearing surface), 광자기 기록용 코일, OPU, 서스펜션, 디스크 미디어를 설계하고 이들에 대해서 자세히 소개하였다.



(a) ABS 편



(b) OL 편

그림 3. 번즈 경향을 가진 OFH 사진

2. OFH와 OPU

OFH 설계 시에 다음의 세가지 특징을 고려하였다. 첫째, 생산성은 낮은 가격의 OFH를 만들기 위해서 중요하다. 또한 조립시 광학적으로 쉽게 맞추고 정렬할 수 있어야 하고, 효과적으로 OPU에 연결할 수 있으며 대량 생산을 위해 가볍고 간단한 구조를 가져야 한다는 쟁점과 주로 관련되어 있다. 둘째로, 중요한 특징 중 하나인 성능은 포커싱, 트랙킹, 공차에 대한 광학적 보상, 고해상도 광학계와 관련되어 있다. 마지막으로 신뢰성도, 중요한 쟁점으로써, 헤드 수명을 보장하고 동작 중의 내구성과 오염에 대한 강건성, 열환경의 변화에도 안정성을 갖는 것과 관련되어 있다.

고NA 광학계를 사용한 픽업 헤드 (pick-up head)로써 OFH에 대해 활발하게 연구하였다. 따라서 무거운 광학 부품을 슬라이더에 탑재 할 수 있도록 OFH를 설계하였으며 슬라이더의 재료는 Al_2O_3-TiC 로써 이는 하드디스크의 슬라이더와 같은 재료이다. 슬라이더의 치수는 폭 3 mm, 길이 4 mm, 높이 1.2 mm 로써 일반적인 슬라이더보다 큰데, 이는 상대적으로 광학계

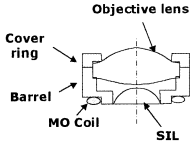


그림 4. 렌즈 경통과 부품의 단면도

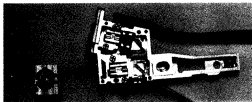
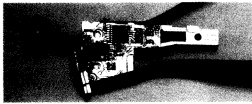


그림 5. OPU의 사진

의 크기가 크고 무겁기 때문이다.

그림 1은 OL과 SIL이 조립된 슬라이더를 보여준다. 그림 2에서 보이는 것처럼, 두 렌즈를 탑재하기 위해서 동축의 구멍을 만드는 대신, 슬라이더에 십자형의 긴 홈(slot)을 가공하였다. 이 홈으로 인해서 렌즈를 쉽게 맞출 수 있으며 구멍을 가진 슬라이더에 비해서 통상적인 가공방법으로 대량 생산을 할 수 있다.

이와는 달리, 또 다른 OFH는 그림 3과 같이 경통(barrel)을 가지고 있다. 이 OFH의 장점은 OL과 SIL을 쉽게 조립할 수 있고 MO코일의 크기가 충분히 크기 때문에 코일로부터 과도한 열전달을 피할 수 있다.

그림 4는 렌즈 경통과 부품들의 단면을 보여주는 것이다. 렌즈 경통은 OL과 SIL, 경통과 덮개, MO 코일로 구성되어 있다. OL과 SIL은 경통에 삽입되며 덮개가 OL을 고정시키면서 입사광의 크기를 덮개 구멍의 크기로 제한한다.

특히, SIL을 슬라이더에 조립하기 위해서 SIL의 밑면을 갈아서 슬라이더에 삽입된 유리기판에 붙였다. 이와 같은 방법으로, 슬라이더와 SIL을 일체로 만들었으며 유리기판은 SIL과 같은 재료를 사용하였고 그 두께는 갈아낸 SIL의 두께와 같도록 하였다.

안정적인 HDI(head-disk interface) 특성을 얻기 위해서는 OFH의 운동에 적합한 ABS와 서스펜션을 설계해야 한다. 따라서 부상 시뮬레이션을 이용하여 ABS를 설계하였고 모달 해석을 통해서 서스펜션도 설계하였다. 그림 5는 OPU의 사진인데, OPU는 렌즈와 다이오드, 프리즘으로 구성되어 있으며 LD, PD 등의 구동IC와 증폭기 등이 장착되고, 광경로는 프리즘을 통하여 OFH의 대물렌즈와 결합되어 있다.

3. OFH의 성능 평가

OL과 SIL의 설계 파장은 660 nm로, NFR 광표입의 형상과 광학 부품을 그림 6에 나타내었다. 이 OFH와 광학 부품의 상세 설계 규정은 표 1에 정리하였다. OL의 NA와 SIL의 굴절률에 근거한 유효 NA는 각각 0.6과 1.11이다. 입구 동공 직경은 $\phi 1.60$ mm이며 유효 초점 거리는 1.3 mm이다. OL의 작동 거리(working distance)가 단지 0.666 mm 반구형 SIL의 반지름은 0.500 mm까지 제한된다.

OFH에서 렌즈 가공 오류에 기인하는 수차는 가능한 한 작아야 한다. 2-요소 NFR 렌즈 시스템의 경우, 반구형 SIL의 부적당한 조립 위치에 따른 오류(광학축에 대한 de-center와 기울어짐) 때문에 생기는 수차가 작은 것이 바람직하다. 이때 끝을 자른 반구형 렌즈이기 때문에 반구형 렌즈의 두 표면 사이에는 어떤

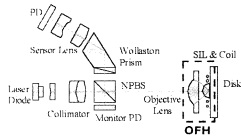
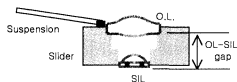


그림 6. 광학 시스템의 전체 개략도

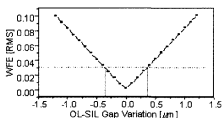
근접장 광기록용 부상형 광학헤드의 설계와 특성 평가 (Optical flying head for near field recording)

표 1. OFH의 OPU의 상세 설계 규정

Optical elements	<ul style="list-style-type: none"> ■ Laser diode : = 658nm Beam shaped ■ Collimator lens : $f = 14.68\text{mm}$ ■ Wollaston prism : = $\theta 0,855^\circ @ 650\text{nm}$ ■ Sensor lens : $f = 16.67\text{mm}$ ■ Photo diode : 4 segment push-pull
	<ul style="list-style-type: none"> ■ NA Objective lens 0.60 ■ Solid immersion lens 1.11 ■ Design wave length 650nm ■ Entrance Pupil diameter $\phi 1.6\text{mm}$ ■ Effective focal length 1.3mm
OFH	



(a) 렌즈 배치에 대한 개념도



(b) 간격의 변화에 따른 파면수차(wave front error: WFE)

그림 7.

de-center 또는 기울어짐이 없다는 것을 유의해야 한다.

더욱이, 렌즈의 NA가 비교적 작기($NA=0.6$) 때문에 OL의 2개의 표면 사이의 de-center 또는 기울어짐 잘못에 기인하는 수차는 무시해도 좋은 정도로 작다. 그러나, 두 렌즈 사이의 거리의 변화가 수차 뿐만 아니라 defocus를 반구형 SIL의 바다면에서 만들어 낸다.

근접장광 기록을 위한 광피업에 대한 공차 분석에 따르면, OL과 SIL 사이의 거리의 변화가, 그림 7에서 나타난 바와 같이, 매우 민감하다. 따라서, NFR를 위한 실용적인 광헤드를 만들기 위해서는 두 렌즈 사이의 거리에 대해서 엄격한 공차가 필요하다.

보상이 완전하지 않기 때문에 약간의 수차가 남지만, 2-요소 렌즈 시스템의 경우, 두 렌즈 사이의 거리의 변화 때문에, 수차는 OL로 입사되는 광선의 발산/

수렴 정도를 바꿔줌으로써 보상된다.

$\pm 2\mu\text{m}$ 이하의 조립 오차는, 허용 가능한 wave front 수차 내에 있는 것으로서, $0.01\lambda\text{rms}$ 미만의 wave front 수차와 함께 $\pm 0.1^\circ$ 의 범위에서 발산되는 광선의 각을 제어하여 보상할 수 있다. 빔 형성 수단으로서 프리즘을 사용하는 경우에 OL로 입사하는 빛의 발산/수렴 정도는, 두 렌즈로 구성된 빔 확장기 (beam expander)의 한 렌즈의 광축 위치를 바꿔줌으로써 조정할 수 있다.

그리고 어느 쪽이 레이저 다이오드와 시준기 (collimator) 렌즈 사이에 위치하는 빔형성 렌즈를 사용하는 픽업에서, OL로 입사하는 광선의 발산/수렴 정도가 시준기 렌즈에서 광축에 대한 위치를 바꾸는 것에 의해 제어할 수 있다. 일반적으로, 빔형성 프리즘을 가진 픽업은 더 복잡하고 빔형성 렌즈를 가진 것보다 더 크다.

본 연구에서 설계한 시스템에 따라 NFR 광픽업을 만들었다. SIL은 반구형 유리 렌즈로 만들었는데, 가능한 한 높은 유효 NA를 얻기 위해 높은 굴절율의 LaSFn9 을 사용하였다. 간섭계를 사용하여 반구형 렌즈의 표면을 조사하였으며, 구형의 표면에서 반사된

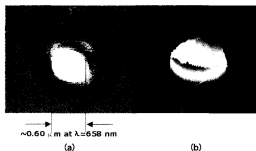


그림 8. (a) SIL 표면의 파면의 상(wave front image); 평면 spot, (b) 3차원 상

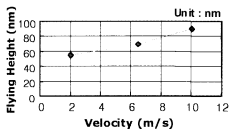


그림 9. SIL 중심의 부상 높이

파면수차(wave front aberration 또는 wave front error)는 $WFE=0.007\lambda_{rms}$ 로 매우 작은 것을 확인하였다. OL은 성형으로 만든 비구형 렌즈이며, 간섭계로 측정된 OL의 수차는 $0.023\lambda_{rms}$ 으로, 이 값을 볼 때 OL의 응용 가능성은 충분함을 알 수 있다.

OPH를 만들기 위해서 두 렌즈를 조립하였으며, 그 정밀도를 조사하였으며, 그림 8은 렌즈에서 구한 wave front 상을 보여주는 것이다. Wave front 오류는 $0.033\lambda_{rms}$ 로 이는 NFR광피업을 위해서 충분한 값이다. 또한 각 렌즈의 수차와 정렬 오차를 고려하더라도 이 제곱평균값 같은 합리적인 것을 알 수 있다.

SIL의 바닥면에서 측정된 스폿 크기를 측정하면 658 nm 에서 약 $0.60\lambda_{\text{m}}$ 인 것으로 확인하였다. 그리고 측정된 스폿 크기로부터 유효 NA는 1.34로 추정된다.

또한, 슬라이더의 부상 특성에 대해서 확인하였다. 그림 9는 선속도의 변화에 따른 SIL 중심부분의 부상 높이를 나타내고 있는데, 실제 SIL의 중심 부분은 투명한 유리 재질이므로 측정이 불가능하기 때문에 다른 측정점에서의 부상 높이로부터 계산하여 부상 높이를 얻었다. 결과적으로, 1.94 m/s 의 속도에서 슬라이더는 55 nm , pitch 3~4 μrad , roll 1 μrad 로 부상하는 것을 확인하였다.

4. NFR 디스크 미디어

종래의 광디스크 구조와 비교할 때, 그림 10에 보이는 것처럼, 근접광장 기록을 표면에 하기 위해서 반대의 적층 순서로 미디어 층을 만들었다. 전형적인 디

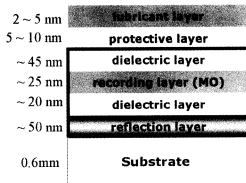


그림 10. NFR 디스크 미디어 구조

스크 구조에 DLC(diamond-like carbon) 보호 코팅 층과 윤활층은 가장 윗 부분의 층으로써 이들은 100 nm 이하의 간격에서 헤드와 디스크에서 트라이블로 지적 용용을 위한 것이다.

특히 보호층으로서, DLC 필름의 경도는 가장 중요한 특성 중 하나이다. DLC 코팅 된 디스크 견본은 공정 압력, 출력, 기관 바이어스와 같은 세 가지의 전형적인 스퍼터링 변수를 바꾸어 주면서 준비하였다. 낮은 압력에서 만든 DLC 필름의 경도는 높은 압력에서 만든 것보다 더 컸으며, 압력이 증가하면서 경도는 감소하였다.

특히, 음의 기관 바이어스 포텐셜을 증가시키면 경도가 증가하였다. 세가지 인자 모두는 스퍼터링 원자의 에너지와 관련되어 있는데, 약 200 eV 의 에너지를 얻은 원자가 필름에서 sp³ 결합을 하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 낮은 출력 조건에서 증착되는 DLC 필름이 높은 출력에서 만들어진 필름보다 더 높은 경도를 갖는 것은 완전히 이해하지 못하였다.

후연 집단(graphite cluster)이 이러한 출력의 범위에서 스퍼터링되는 것처럼 보이기 때문에 높은 출력에서 증착된 필름은 주로 sp² 결합으로 구성되는 것처럼 보이는 것으로 추측하고 있다. 그러나, 분리된 원자는 낮은 출력 범위에서도 스퍼터링될 수 있으며, 이로 인해서 적당한 환경하에서는 sp³ 결합으로 변화될 수 있는 가능성이 생긴다

몇몇의 논문에서는 첨가된 가스 환경에서 만들어진 수소화된 비정질 탄소(a-C:H)가 좋은 다이아몬드 물성을 보여준다고 보고하였다⁴⁵.

따라서, 부가적인 가스로 CH₄를 사용하여 DLC 필름의 광학적 물성을 개선하도록 하였다. 그리고 이번 실험에서 두 가지 서로 다른 점을 관찰하였는데, 한가지는 DLC의 증착 속도이며 다른 하나는 필름의 광학적 투과율이다.

부가적인 가스 환경에서 증착 속도는 순수한 Ar 스퍼터링을 할 때보다 몇 배 더 큰 것으로 나타났는데, 이는 CH₄ 가스의 탄소 원자가 기여한 것이다. 반면에, 혼합 가스 환경에서 준비된 DLC 필름의 투과율은 현저하게 증가한다. DLC 필름에서 수소 농도를 늘리는 것에 의해, 필름이 투명해지면서 밴드갭(band gap)이 증가되었다⁴⁶.

PFPE(Perfluoropolyether)는 디스크의 위에 윤활층으로써 위해 코팅되었다. PFPE는 종래의 하드디스크 윤활 물질로써 헤드-디스크 간의 충돌에 의한 데이터 손실을 방지해 준다. 그것은 dip-coating 기술을 사용하여 코팅된다. 따라서 윤활층의 두께를 특정하게 만들기 위해서, 밀도와 빼내는 속도에 대한 교정 곡선(calibration curve)이 필요하다.

5. 결론

본 논문에서는 실용적인 관점에서, 근접장광 기록용 OFH의 설계 쟁점에 대해서 살펴보았으며, 효과적인 구조에 대해서 제안하였다. 첫번째 OFH는 긴 홈을 가지고 있어서 두 렌즈를 쉽게 조정할 수 있고 대량 생산에 효율적으로 대응하는 것이다. 반면에 경통을 가진 OFH는 OL과 SIL의 조립이 쉽고 MO 코일로부터 과도한 열전달을 막을 수 있는 장점을 갖도록 하였다.

또한 고NA의 광학계를 가진 OFH의 기본적인 부상 특성과 광학적인 특성을 확인하고 평가하였다. 비록 슬라이더에 탑재된 광학 부품들이 크고 무겁지만 적합한 슬라이더 구조와 ABS에 대한 설계로 헤드와 디스크간의 간격을 안정적으로 유지할 수 있었다.

6. 후기

본 논문에서 사용한 OFH의 설계 및 평가에 연세대학교, CISD의 박영필센터장, 김대은교수등을 비롯한 연구팀의 기술적인 지원과 도전에 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) T. Mizuno, T. Hitosugi, N. Kojima and K. Watanabe, Technical digest of ODS, (2001) 268.
- (2) N. Kojima, T. Mizuno, T. Hitosugi, A. Kawashima and K. Watanabe, Technical digest of ODS, (2001) 271.
- (3) S. Kim, G. Park, H. Oh, J-Y. Kim and J-H Kim, Technical digest of ODS, (2001) 247.
- (4) Hsiao-chu and D. B. Bogy, J. Vac. Sci. Technol., A 5, (1987) 3287.
- (5) Soon-Cheon Seo, David C. Ingram, and Hugh H. Richardson, J. Vac. Sci. Technol., 13, (1995) 2856.

약 력



김수정

현재근무처 : (주)LG전자, Digital Media 연구소에 책임 연구원 재직중
 최종학력 : 1990.8 연세대학교 기계공학과 석사,
 1984.8 연세대학교 기계공학과 석사,
 1980.2 연세대학교 기계공학과 학사.

주요경력 : 1984.7 ~ 현재 (주) LG전자 근무
 1995.1 ~ 1997.2 미국 University of California, San Diego의 CMRR 방문연구원
 주관심분야 : 근접장광 응용 정보저장 장치(NFR), OFH(Optical Flying Head) 기술, Tribology, Head/medium interface 및 고밀도 MO recording