

고체침지렌즈 기반 근접장 표면 기록을 위한 고체침지렌즈 광학 헤드의 조립 및 평가에 대한 연구

A Study on Assembly and Evaluation of SIL optical Head for surface Recording of SIL based NFR

민철기¹, 김태섭², 윤용중², 박노철[†], 박영필¹
 Cheol-Ki Min¹, Tae-Seob Kim², Yong-Joong Yoon²,
 No-Cheol Park[†] and Young-Pil Park¹

Abstract

For the assembly and evaluation of solid immersion lens (SIL) optical head which is the key component of SIL based near field recording (NFR) technology, we modify the Twyman-Green interferometer. Super-hemisphere SIL optical head for the surface recording is assembled and evaluated by the modified Twyman-Green interferometer. In order to verify the optical performance of the assembled SIL optical head, we compare the measured results of the SIL optical head with the simulation ones. Finally, we show the feasibility of applying the assembled SIL optical head to near field recording system by the experiment of the dynamic gap control based on test bed.

Key Words : Solid immersion lens, near field recording, SIL assembly

1. 서론

차세대 정보저장 기술로 HAMR(heat assist magnetic recording), Super-RENS, NFR(near field recording)등이 떠오르고 있는 가운데 이 중에서 NFR 기술은 차세대 정보저장 기술로 각광받고 있다. 기존의 원격장(far field) 기록 기술이 갖고 있는 회절 한계를 극복하고자 근접장(near field) 기록 기술이 연구되고 있다. 근접장 기록 기술의 핵심 기술은 개구수(numerical aperture)를 1 보다 크게 하여서 집광된 빔의 크기를 줄이는 데 있다. 이 기술을 적용하기 위해서는 기존의 원격장 광학계와는 달리 광학 헤드에 2 개의 렌즈가 사용되는데 1 개의 대물렌즈(object lens)와 1 개의 고체침지렌즈(Solid Immersion Lens)가 사용된다. 일반적으로 근접장 기록 기술에 사용되는 고체침지렌즈는 그림 1 과 같이 개구수 $NA = n_{SIL} \sin \theta$ 를 갖는 반구형 고체침지렌즈와 $NA = n^2 \sin \theta$ 를 갖는 초반구형 고체침지렌즈가 있다.[1]

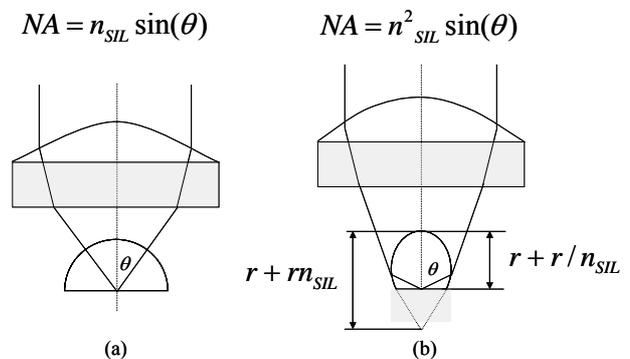


Fig. 1 (a) Schematic of a hemispherical SIL.
 (b) Schematic of a super-hemispherical SIL.

근접장 기록기술에의 핵심부품은 고체침지렌즈 광학헤드로서 이 핵심부품의 조립 및 평가 또한 근접장 기록 광 정보저장에서 중요한 하나의 기술 분야이다. 이는 고체침지렌즈 광학헤드 조립시 표 1 에서 기술한 것처럼 광학적 공차가 엄격하고 정밀하게 요구되기 때문이다.[2] 고체침지렌즈 광학헤드의 조립에 있어 대물렌즈 및 고체침지렌즈의 decenter 및 tilt 공차는 경통 및 렌즈의 기구적 공차로 관리가 가능하지만, 대물렌즈와 고체침지렌즈의 거리 공차는 경통 및 렌즈의 기구적 공차 관

† 연세대학교 기계공학과
 E-mail pnch@yonsei.ac.kr
 TEL : (02)2123-4677

1. 연세대학교 기계공학과 대학원
 2. 연세대학교 정보저장공학 협동과정

Table 1 Geometrical tolerance of SIL optical head.

| | Hemishepre SIL | Super-hemisphere SIL |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------------|
| OL, SIL distance(μm) | 0.3 | 1.0 |
| SIL distance(μm) | 40 | 0.4 |
| OL De-center | ± 15 | ± 25 |
| OL Tilt(degree) | ± 0.5 | ± 0.5 |
| SIL Tilt(degree) | ± 1.4 | ± 0.8 |
| OL+SIL Tilt(degree) | ± 0.5 | ± 0.3 |

리만으로는 불가능하다. 따라서 고체침지렌즈 광학헤드의 조립은 간섭계를 통해 실시간으로 평가와 동시에 이루어져야만 한다. 하지만 일반적으로 광학부품의 평가 전용으로 사용되는 상용 간섭계를 직접적으로 고체침지렌즈 광학헤드의 조립에 적용하기는 불가능하다. 따라서 이 실험에서는 기존의 TGI(Twyman-Green Interferometer)에 고체침지렌즈를 조립할 수 있는 전용 시스템을 개발하여 그림 2 와 같이 재구성해서 고체침지렌즈 광학헤드의 조립 및 평가를 시행하였다. 고체침지렌즈와 대물렌즈의 defocus 와 tilt, decenter, 렌즈들간의 접촉 등의 상황을 모니터링 하면서 측정을 하기 위하여 CCD 카메라를 설치하여 실험하였으며, 평행빔이 대물렌즈를 통과 후 정확하게 초반구형 고체침지렌즈의 바닥면에 구면수차를 없앤 지점에 맺힌 후 반사된 이미지와 기준 빔과의 간섭에 의하여 생긴 간섭무늬로 수차를 평가 하였다. [3]

본 논문에서는 표면기록용 초반구형 고체침지렌즈 광학헤드를 재구성한 TGI 를 통해 조립 및 광학적 특성을 평가하였고, 조립된 렌즈를 이론적인 해석결과와 비교하여 광학적 특성을 평가하였고 또한 조립된 광학헤드를 테스트 베드를 이용하여 동적 갭 서보를 통하여 근접장 기록기술에서의 적용 가능성을 확인 하였다.

2. 초반구형 고체침지렌즈의 조립 및 평가

2.1 실험장비 및 광학헤드 소자

이 실험에서는 조립된 렌즈의 전반사된 광원과 기준광원과의 복사조도를 같게 하기 위해서 기준광원의 반사되는 지역에 ND 필터를 사용하여 콘트라스트 문제가 발생하지 않았으며 잡음을 제거하여 CCD 를 통한 간섭무늬를 관찰하였다. 그림 2 는 TGI 의 실험장치로 LD 광원으로부터 나온 현미경과 핀 홀 그리고 평행렌즈를 통하여 공간 필터링을 수행하여 안정적인 광원을 사용하였다. 이 실험에 사용된 LD 의 광원은 405nm 이고 고체침지렌즈의 굴절률은 2.08 이며 유효 개구수 NA 는 1.84 수준으로 표 2 에 광학적 사양을 정리 하였고 그림 3 에는 고체침지렌즈, 대물렌즈 및 경통을 나타내었다.

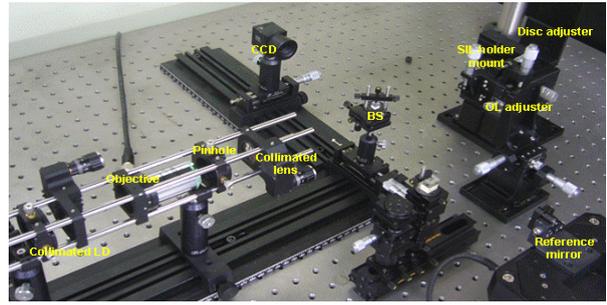


Fig. 2 Photograph of a system set up for SIL assembly

Table 2 Specification of SIL

| | | |
|--|--------------------|--------|
| SIL | Effective NA | 1.84 |
| | Material | LAH79 |
| | Diameter | 0.9 mm |
| | Reflective Index | 2.0749 |
| | Cone angle | 75deg. |
| Wavelength | 405 nm | |
| Effective focal length | 0.6523 mm (in air) | |
| Note : Super-Hemisphere SIL of Surface Recording | | |

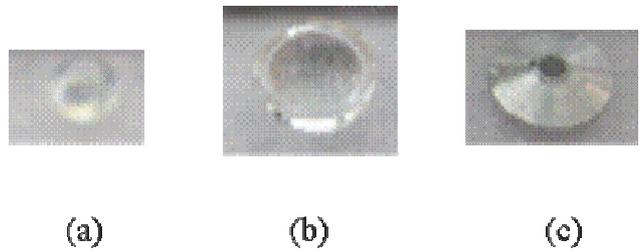


Fig.3 Photograph of (a) SIL, (b)OL, (c)holder. (Courtesy by SONY)

2.2 조립 및 평가 결과

실험 결과의 타당성을 검증하기 위하여 실험 전 시뮬레이션을 시행하였다. 시뮬레이션은 디스크가 없는 경우에 광원이 고체침지렌즈의 바닥면에 맺혔을 때, 간섭 무늬를 관찰하는 것으로 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 분석하여 표면기록을 위한 고체침지렌즈 광학헤드 조립 및 평가를 시행하였다. 경통에 조립된 SIL 을 TGI 를 이용하여 출사동의 무늬를 확인하면 출사동에서는 전반사에 의하여 입사각보다 큰 광원은 전반사에 의하여 전부 중앙 부분은 어두운 무늬가 나타나고 바깥 부분은 밝은 무늬가 나타난다.

Table 3 Comparison of simulation results and experiment.

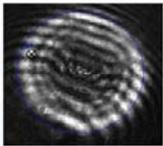
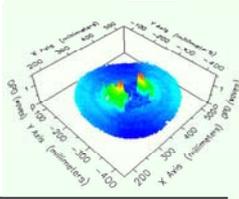
| | Interferogram | OPD |
|------------|---|---|
| Simulation |  |  |
| Experiment |  |  |

Table 4 Comparison of Calculated aberration results and measurement aberration data.

| λ | Simulation | Experiment |
|------------------------------------|------------|------------|
| RMS of Total WFE(Wave Front Error) | 0.1254 | 0.13 |
| Focus | -0.0982 | -0.082 |
| X Astigmatism | 0.000 | 0.060 |
| Y Astigmatism | 0.2569 | 0.176 |
| X coma | 0.000 | 0.046 |
| Y coma | -0.0014 | 0.024 |
| Spherical aberration | -0.0705 | 0.080 |

이 때, 조립된 렌즈가 대물렌즈와 고체침지렌즈의 거리 및 각도 등이 광학적 공차특성을 만족하면 측정된 간섭무늬의 출사동에서 관찰된 이미지와 OPD (Optical path difference) map 은 근접장 영역과 원격장 영역이 확실히 구분되어서 좋은 간섭무늬를 얻을 수 있으며, 표 3 과 같이 간섭무늬를 확인하여 OPD map 을 확인할 수 있다.

표 4 는 이론적인 결과와 실험결과의 RMS 값을 계산하여 비교 하였다. 이론적인 결과와 실험적인 결과 모두 비점수차가 가장 크게 나왔으며 이것은 표 3 에서 보듯이 임계각(crystal angle) 및 편광각(Brewster's angle)에서의 위상의 불연속성으로 인한 결과이다.

3. 동적 갭 서보 실험 및 결과

SIL 과 디스크 사이의 갭을 50nm 이하로 유지하는 문제는 NFR 시스템에서 가장 중요하고 어려운 문제 중 하나이다.[4] 이 실험에서 최종 조립된 고체침지렌즈 광학헤드를 가지고 동적 갭 서보 실험을 진행하여 NFR 에서의 적용가능성을 확인하였다.

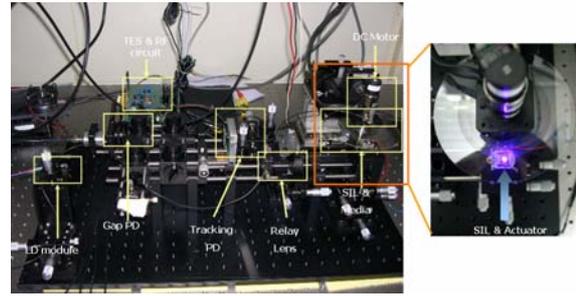


Fig. 5 Photograph of a system set up for gap servo system.

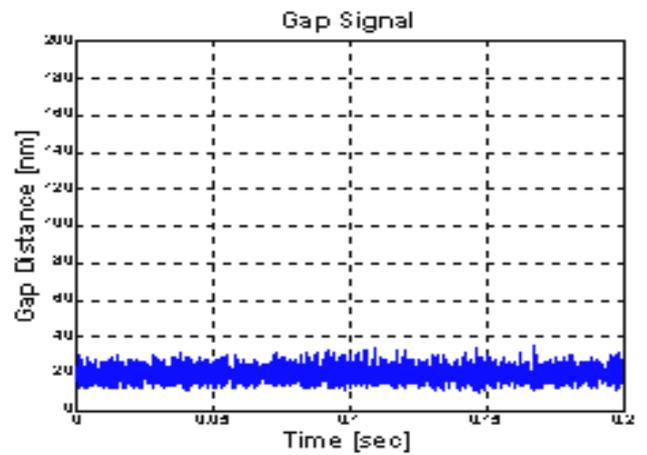


Fig. 6 Experimentally observed gap error signal of the assembled SIL optical head in the NFR servo system.

그림 5 는 근접장 기록 시스템에서의 실험장치의 사진이다. 근접장 동적 갭 서보 실험에 사용된 디스크는 50GB 의 용량을 가지고 있으며 트랙 피치는 226nm, 채널 비트 길이는 105nm 의 폴리카보네이트 ROM 디스크를 사용하였다.

실험 시 100kHz 의 샘플링 주파수를 가지는 DSP(Digital signal processor)를 이용하였다. 실험에 사용된 기본 제어기는 6.05kHz 의 개루프 대역폭, 35.4 도의 위상여유, 5.78dB 의 이득여유를 갖도록 설계하였다.

그림 6 은 조립된 SIL 을 사용하여 디스크를 회전 시켰을 때 디스크표면과 고체침지와의 거리는 20nm 로 유지하면서 갭 서보 실험을 진행한 결과 이다. 이 실험에서 안정된 갭 에러 신호를 검출하여 표면기록용 근접장 기술에서의 가능성을 확인 하였다.

4. 결론

본 논문에서는 표면 기록용 근접장 고체침지

렌즈의 조립 및 평가를 재구성한 TGI 를 이용하여 광학적 성능을 평가하여 이론적인 결과와 비교하여 타당성을 검증하였고, 근접장 재생 시스템에서 디스크의 회전 속도에 따른 잔류 갭 에러를 줄이기 위한 제어기를 사용하여 동적 갭 서보 실험을 진행하였으며, 이를 통하여 조립된 고체침지렌즈와 디스크를 20nm 에서 간극제어를 통하여 고밀도 기록의 정보저장예의 적용 가능성을 제시하였다.

후 기

본 연구는 Center for Information Storage Device (CISD)의 지원을 받아 수행하였다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] I. Ichimura, S. Hayashi, and G. S. Kino, "High-density optical recording using a solid immersion lens," *Appl. Opt.*, Vol.36, No.19, pp.4339-4348, 1997.
- [2] M. Shinoda, K. Saito, T. Ishimoto, T. Kondo, A. Nakaoki, N. Ide, M. Furuki, M. Takeda, Y. Akiyama, T. Shimouma and M. Yamamoto: *Jpn.J. Appl. Phys.* 44 (2005) 3537.
- [3.] F. Zijp, J. M. A. van den Eerenbeemd, P. Urbach and C. A. Verschuren, "Effects of Polarization on Wave Front Measurements and Manufacturing of Solid Immersion Lenses for Near-Field Optical Recording", *Jpn. J. Appl. Phys.* 45 (2006) 1341.
- [4] Ju-Il Lee*, Michael van der Aa, Coen Verschuren, Ferry Zijp and Martin van der Mark, 2005, "Development of an Air Gap Servo System for High Data Transfer Rate Near Field Optical Recording", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol.44, No.5B, pp.3423-3426.