

광학 필터를 사용한 고해상 고체침지 렌즈 기반 근접장 현미경 적용 가능성에 대한 연구

Feasibility study on realization of high resolution solid immersion lens-based near-field microscopy by use of an annular aperture

문형배*, 윤용중*, 김태섭**, 박영필**, 박노철**, 박경수†

H. B. Moon, Y. J. Yoon, T. S. Kim, Y. P. Park, N. C. Park and K. S. Park

(2010년 9월 13일 접수; 2010년 9월 17일 심사완료; 2010년 9월 24일 게재확정)

Abstract

In optical imaging systems, such as microscopes, high resolution exposure systems, and optical storage devices, higher optical resolution is a requirement. One of the promising technologies that is able to satisfy this requirement with relatively simple construction and reliable performance are, solid immersion lens (SIL)-based near-field (NF) optical systems. High NA optical systems using annular apertures have been investigated as one solution to achieve higher resolutions and an extended focal depth. By applying an optimized annular aperture to convention SIL optical head resolution can be increased by approximately 20%. This novel SIL-based near-field optics will be verified through experiments such as measuring focused beam spot profiles and observing the topology of a measurement sample. The studied SIL-based near-field optics can be applicable to not only next generation optical storage device but also high resolution microscopy and patterning technologies.

Key Words : NF (near-field) optics, annular aperture, NF microscopy, optical filter.

1. 서론

우리나라의 핵심 IT 산업으로 분류되는 광 정보 저장기기 (ODD: Optical Disk Drive)와 자기 정보저장기기 (HDD: Hard Disk Drive)는 현재 세계 시장을 주도하고 있는 가운데, 개인 및 기업에서 필요로 하는 정보량은 급격히 증가하고 있고, 또한 이에 대응되는 빠른 정보처리 속도가 꾸준히 요구되고 있다. 이에 따라 고체침지렌즈 기반의 근접장 광

기록 기술이 차세대 광 정보저장기기의 유력한 후보로 연구되고 있다. 고체침지렌즈 기반 광 정보 저장 기술의 조기 상용화를 위해 고해상도와 높은 기록밀도를 구현하는 연구들이 수행되었다[1-3]. 일반적으로 근접장 광학헤드는 광학해상도와 관련하여 근본적으로 기술적인 문제점을 가지고 있고, 이를 극복하여 초 고해상도의 광학계를 구현하기 위한 방법으로 광학필터 기술과의 융합연구를 수행하였다. 광학필터 기술은 빛의 투과 혹은 차단 그리고 위상을 조절하여 빔의 특성을 변화시킴으로써 초점의 크기를 줄여주는 효과를 보여주기 때문에, 고체침지렌즈 기반 근접장 광학기술을 통해 광학계의 큰 변화 없이 초 고해상도의 광학성능을 얻을 수 있다. 본 연구는 광학필터를 적용한 근접장 광학계를 사용하여 SIL 기반 근접장 현미경 적

† 연세대학교 기계공학부

E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-4677

* 연세대학교 정보저장기기연구센터

** 연세대학교 기계공학부

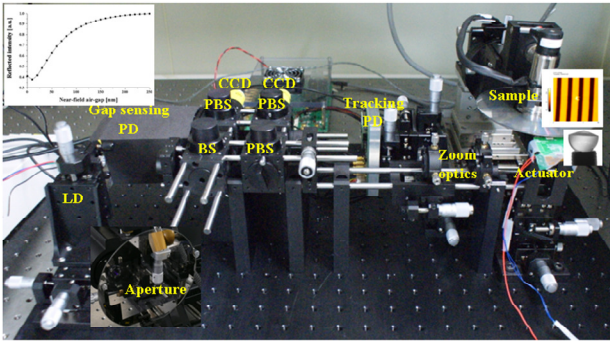


Fig. 1 시료의 형상 프로 파일을 측정 하기 위한 실험 구성

용가능성에 대한 연구를 진행하였다. 연구를 진행한 결과, DVD-R 미디어 형상 측정에 대하여 광학 필터 적용 시 광학적 분해능이 약 20%가 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 본 융합기술의 실용가능성을 확인하였다.

2. 실험

SIL 기반 근접장 광학은 근접장 간극에 따른 반사 신호를 시용하여 정밀 간극 제어 알고리즘으로 근접장 간극을 유지 할 수 있기 때문에 SIL 기반 근접장 광학을 고속 근접장 스캐닝 광학 형상 시스템에 적용이 가능하다. 본 실험에서는 표면 기록 방식 SIL 광학헤드와 DVD-R 기판을 사용하였다. Fig. 1 은 시료의 형상을 측정하기 위한 실험 구성이다. 이 실험 구성은 근접장 기록 응용분야를 위해 먼저 개발 되었지만, 정밀 간극 제어로 형상 측정에 사용할 수 있다. 이 시스템으로, 근접장 영역 광학 스캐닝 방법을 통해 DVD-R 기판 형상 프로파일 측정 결과를 설명 후 및 위상 변조하지 않은 형상의 광학 필터를 사용한 개선 결과를 보여준 것이다. Fig.2 는 실험에 사용된 광학 필터의 모식도로 참조논문[4] 의 형상을 적용하였다.

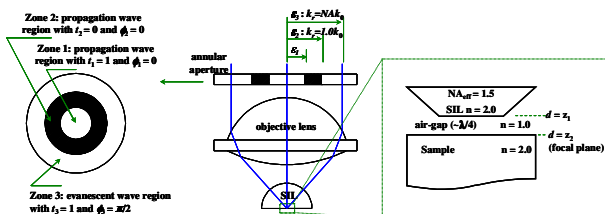


Fig. 2 샘플을 포함한 광학 필터와 표면 기록 SIL 광학헤드 도식도

제안된 근접장 영역 스캐닝 방법은 Chen et al.[5] 적용 분야 결과와 다르다. 참조 논문[5]의 정적인 측정 방식을 사용한 것과 비교할 때 이 연구에서는 근접장 간극 제어 방식을 사용하여 시료 표면 위에서 동적인 측정이 가능한 점에서 차이가 있다. 전반사에 의한 반사된 빔 세기인 제어 피드백 신호는 시편의 형상으로 변환된다. 본 실험에서는 일정한 근접장 간극 높이 제어 방법은 위에서 언급한 광학과 현미경을 응용에 사용된다. Fig. 3 은 일정한 근접장 간극으로 시료의 형상 프로파일을 측정하는 개념을 보여준다. SIL 광학헤드로 시료를 측정 할 때, 반사된 빔 세기는 Fig. 3 에서 보이는 것처럼 반사된 근접장 간극을 위한 기준 곡선에 의해서 바로 스캔하는 물체의 구조와 높이 정보를 제공한다. Fig. 3 아래 그래프는 굴절률 1.622 를 갖는 DVD-R 기판의 간극 거리에 따른 반사된 빔 강도를 정상화 한 것이다.

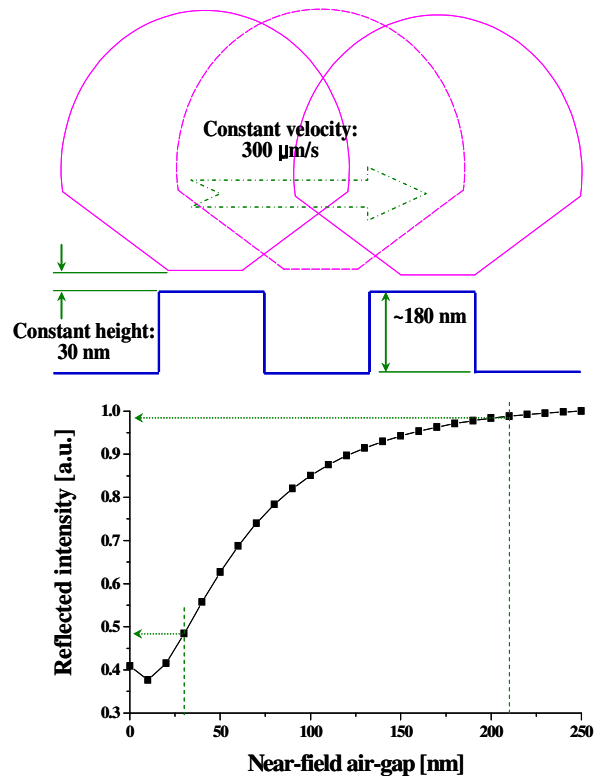


Fig. 3 일정한 근접장 간극 높이를 유지하면서 격자 구조물의 형상 프로파일 측정 컨셉과 정상화한 반사된 빔 강도

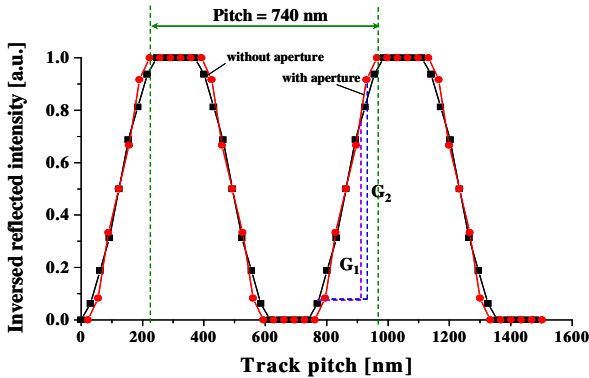


Fig. 4 740nm의 피치와 격자 구조 계산 형상 프로파일

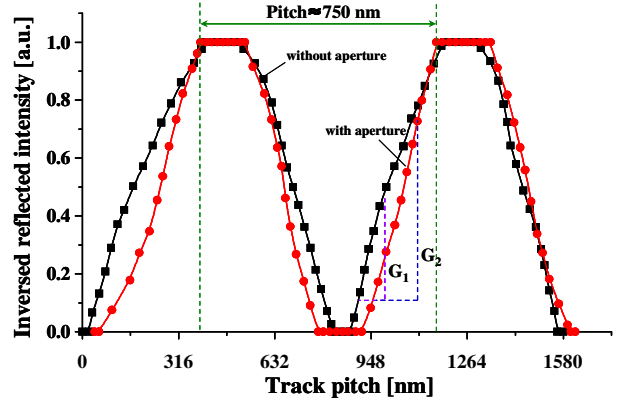


Fig. 6 740nm 피치를 갖는 DVD-R 미디어 격자 구조의 측정 형상 프로파일

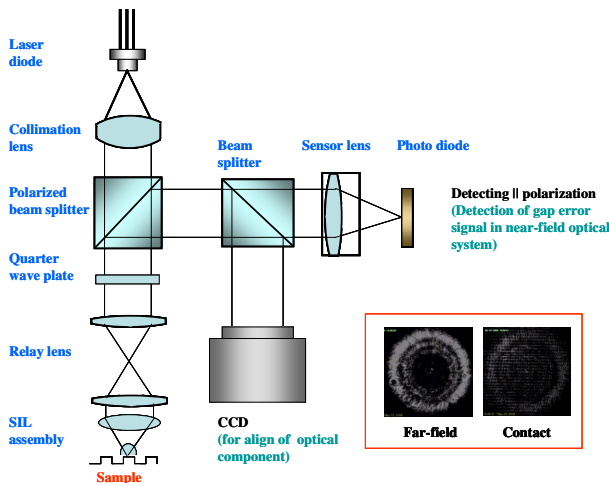


Fig. 5 근접장 간극제어에 대한 작동 원리 도식표

광학적 시뮬레이션을 통해 얻은 결과이다. 검은 색과 빨간색 선은 광학필터가 없는 경우와 있는 경우를 나타낸다. 경사 비율($[(G2-G1)/G1] \times 100$)은 약 22%이다. 이 비율은 광학 필터를 사용하여 분해능이 증가하였음을 의미한다. 계산된 형상 프로파일에서, y 축의 0과 1은 30 nm 간극을 의미한다.

Fig. 5는 근접장 간극제어에 대한 작동 원리 도식표로, 이 간극제어는 근접장 기록에 사용된다. SIL의 평평한 표면이 샘플 표면에 밀접하게 접근할 때, 소멸파로 알려진 내부 전반사 광은 근접장 간극 내에서 샘플로 투과한다. 선형 편광된 빔으로, 편광의 직교 구성 요소는 SIL 바닥면으로 유도된다. 반사된 빔은 근접장 간극에 따라 일정하게 변하게 된다. 계산된 결과는 그림 3과 같으며, 이 반사 강도 변화를 기반으로 하여 근접장 간극제어가 수행된다. 경사 비율($[(G2-G1)/G1] \times 100$)은 약 22%이다. 이 비율은 광학 필

터를 사용하여 분해능이 증가하였음을 의미한다. 실험을 통하여 얻은 결과이다. 검은색과 빨간색 선은 광학필터가 없는 경우와 있는 경우를 나타낸다. 경사 비율($[(G2-G1)/G1] \times 100$)은 약 20%이다. 이 비율은 광학 필터를 사용하여 분해능이 증가하였음을 의미한다.

본 실험에서는 측정에 샘플을 이동하는 대신, 광픽업 액추에이터를 구동하여 형상 프로파일을 측정한다. 액추에이터는 샘플로부터 일정 높이와 속도를 유지할 수 있다. 실험에서 액추에이터는 샘플 상단 표면으로부터 30nm 높이를 300 $\mu\text{m/s}$ 속도로 이동한다. 오실로스코프를 통하여 측정 시간과 반사 빔 세기를 알 수 있다. 마지막으로 Fig. 3과 같이 기준 반사 빔 강도와 비교하여 DVD-R 기판의 형상 프로파일은 Fig. 6에서와 같이 측정된다. Fig. 6에서 나타난 것과 같이 광학 필터의 효과를 확인하기 위하여 광학필터를 사용한 형상 측정 프로파일을 제시하였다. 광학 필터와 작은 스팟 크기 때문에, 광학 필터를 사용한 경우 지형 프로파일이 더 정확하게 측정될 수 있다.

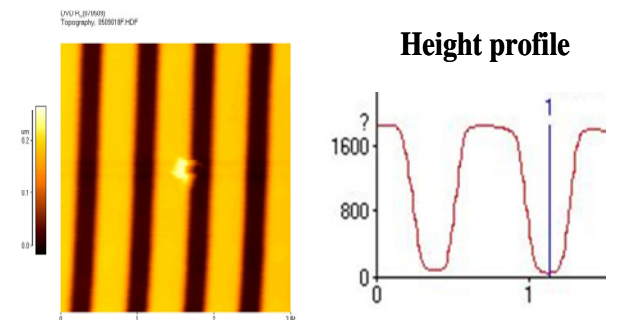


Fig. 7 AFM에서의 이미지와 형상 프로파일

Fig. 7 과 같이 AFM (원자 현미경) 측정 결과와 비교해 보면, 제시된 방법으로 사용된 DVD-R 홈 깊이와 트랙 피치 정보가 AFM 을 사용한 결과와 거의 일치 한다는 것을 알 수 있다. 형상 프로파일 분석을 통하여, 가장자리의 밝고 어두운 부분 사이의 경사면 길이가 약 180 nm 임을 알 수 있다. 또한 이러한 실험 결과들은 Fig. 4 에서 보이는 것 과 같이 결산된 결과와 비슷한 결과를 갖는다. 이 실험에서 두 가지 중요한 사실이 확인 된다. 하나는 제안된 방법은 고속 광학 현미경을 스캐닝 적용할 수 있다는 것과 다른 하나는 광학 필터는 근접장 간극에서 SIL 기반 근접장 광학계의 광학적 분해능을 증가 시킬 수 있다는 것이다. 그러나 빔 강도 곡선에 따른 간극 기울기가 감소 할 때, 소멸파가 발생하는 거리보다 큰 깊이에서 정확하게 측정 할 수 없다. 그러나, 동일한 AFM 이미지와 비교할 때, 고해상 SIL 광학 헤드를 사용한 이미지가 훨씬 쉽게 측정 샘플에 대한 정보 프로파일을 제공한다.

3. 결론

위 논문에서, 형상 프로파일 실험을 통하여 광학 필터의 효과를 확인 하였다. 격자 구조의 형상 프로 파일 측정은 광학 필터의 효과뿐만 아니라 SIL 기반 근접장 광학계의 고해상 광학 현미경에 대한 적용 가능성도 보여 주었다.

후 기

이 논문은 2008 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. F01-2008-000-10145-0)

참고문헌

- [1] I. Ichimura, S. Hayashi, and G. S. Kino, "High-density optical recording using a solid immersion lens," *Appl. Opt.* 36(19), 4339–4348 (1997).
- [2] M. Shinoda, K. Saito, T. Kondo, M. Furuki, M. Takeda, A. Nakaoki, M. Sasaura, and K. Fujiura, "High-Density Near-Field Readout Using Solid Immersion Lens Made of KTaO₃ Monocrystal," *Jpn. J. Appl. Phys.* 45(No. 2B), 1332–1335 (2006).
- [3] C. A. Verschuren, D. M. Bruls, B. Yin, J. M. A. van den Eerenbeemd, and F. Zijp, "High-Density Near-Field Recording on Cover-Layer Protected Discs Using an Actuated 1.45 Numerical Aperture Solid Immersion Lens in a Robust and Practical System," *Jpn. J. Appl. Phys.* 46(No. 6B), 3889–3893 (2007).

- [4] Y. J. Yoon, W. C. Kim, H. Choi, N. C. Park, and Y. P. Park, "Effect of annular aperture on solid immersion lens-based near-field recording," *Jpn. J. Appl. Phys.* 47, 6804–6808 (2008).
- [5] T. Chen, T. Milster, S.K. Park, B. McCarthy, and D. Sarid, "Near-field solid immersion lens microscope with advanced compact mechanical design," *Optical engineering* 45, 103002-1-103002-6 (2006).