마이크로 홀로그래픽 저장장치의 공초점 필터의 효과

Effects of Confocal Filter for Reading of Micro Holographic Data Storage

민철기*, 김도형**, 박노철†, 양현석*, 박경수*, 박영필*

Cheol-Ki Min, Do-Hyung Kim, No-Cheol Park, HyunSeok Yang,

Kyoung-Su Park and Young-Pil Park*

(2010 년 2 월 25 일 접수; 2010 년 3 월 12 일 심사완료; 2010 년 3 월 19 일 게재확정)

Abstract

In this paper, we investigate the confocal filter for high quality reading signal of micro holographic data storage system. The confocal filter is used to remove crosstalk effects of adjacent recording-layer by multi-layer multiplexing method. To remove a noise of reading signal, we consider size and geometrical structure of filter. From the obtained results, we present optical characteristics including Fresnel and Fraunhofer diffraction effects. Finally, we propose the optimal confocal filter for good image quality and increased reflection power.

Key Words : Micro Holographic Data Storage System (HDSS), Confocal Filter, Diffraction

1. 서 론

Holographic Data Storage (HDS) 기술은 차세대 광정보 저장 기술로 현재 compact disk (CD) 크기의 디스크에 1Tera-byte 의 저장용량을 갖는 고밀도 저장장치로 연구되고 있다 [1]. 마이크로 홀로그램은 signal 과 reference 의 2 개의 레이저 빔이 중첩되어 기록되는 방식이다. 마이크로 홀로그래픽 저장방식이 기존의 광정보저장장치와 비교했을 경우 차이점은 디스크의 기록 층의 전체면적을 사용할 수 있고 wavelength 와 다층 기록의 depth multiplexing 기법으로 고용량의 정보를 저장 및 재생할 수 있다[2]. 다층기록된 데이터를 재생할 경우, 재생하는 기록층의 주변 기록층에서 발생하는 noise 신호로 인하여 공초점 필터가 필요하게 된다. 본 논문에서는 마이크로 홀로그래픽 저장장치의 기록 및 재생을 위한 빔 스팟의 이론적인 결과와 실험적인 결과를 비교한다. 빔 스팟을 획득하기 위한 신호는 스칼라 회절이론을 바탕으로 하여 Airy ring 의 크기에서 full width half maximum (FWHM)을 계산한다. 재생신호의 노이즈를 제거하기 위한 공초점 필터를 설계하여 Micro HDS 의 재생을 위한 광학계의 성능을 개선시킨다. 공초점 필터의 설계변수는 필터의 사이즈와 형상 그리고 필터를 통과한 빔의 복사조도를 고려하여 설계한다.

.

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

2. 기록/재생의 원리

마이크로 홀로그램의 기록은 레이저로부터 출사된 광원이 첫번째 대물렌즈를 통과한 광원이 홀로그래픽 미디어를 통과하여 발산된 광원이 2 번째 대물렌즈를 통과한 후 미러를 통해 반사된 광원이 홀로그래픽 미디어에 다시 집속되는 원리이다. 기록을 위한 광학적 조건은 빔의 같은 진폭과 크기이다 [1].

재생시에는 미러의 틸트로 인하여 2 번째 렌즈의 광원이 다시 집속되지 않고 첫번째 렌즈의 집속된 광원이 반사되어 공초점 필터를 통과하여 재생신호를 확인한다. 그림 1 에 마이크로 홀로그래픽 저장장치의 기록 및 재생을 위한 광학시스템을 나타내었다. QWP 를 통하여 레이저 광원은 원형편광의 광원으로 바뀌어 집속되고 polarizer 를 사용

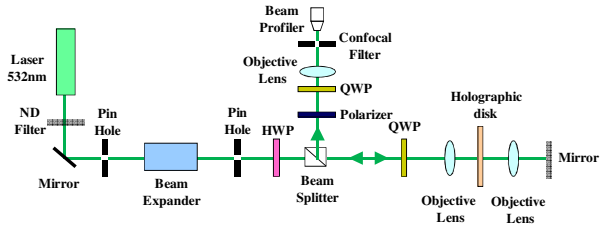


Fig.1 Schematic configuration for recording and reading of Micro HDS. The counter propagating signal object and reference beams focus the micro holographic gratings one-by-one inside the recording layer

하여 편광성분에 의한 noise 성분은 제거하였다. 공초점 필터는 근접한 기록층에서 반사되는 noise 성분을 감소시킨다. ND 필터는 입사되는 레이저의 광 파워를 조절하고 2 개의 핀홀을 통하여 입사되는 광원은 원형형상의 깨끗한 레이저 광원을 가지게 된다. 2 번째 렌즈의 뒷면에 위치한 미러의 광학적 공차는 대물렌즈와 비슷한 특성을 갖는다. 마이크로 홀로그래픽의 기록된 홀로그램은 Raylieh 의 거리의 2 배가 되는 영역에 생성된다. 2 개의 집속된 빔의 초점심도에서 마이크로 홀로그램이 형성된다는 것을 의미하고 그림 2 에 z 방향의 2 개의 빔의 거동현상을 나타내었다.

그림 3 은 2 개의 기우시안 빔의 집속에 의해서 생성된 마이크로 홀로그램을 나타낸다. Signal 빔은 홀로그래픽 미디어에 강하게 집속된 후에 미디어의 반대편 미러를 통하여 반사된 빔이 다시 reference 빔을 통하여 집속된다. 기록된 마이크로 홀로그램은 photopolymer 의 유전상수의 값에 따라 변하고 Rayleigh 의 거리에서 홀로그램이 생성된 영역(z=0)에서 벗어날수록 기록된 홀로그램의

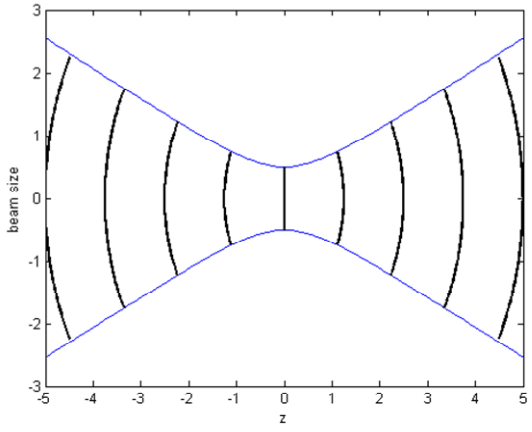


Fig.2 Two counter-propagating Gaussian beams that creates a volume grating pattern

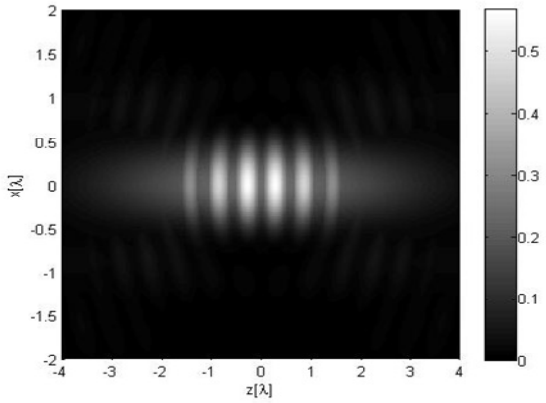


Fig.3 Calculated refractive index modulation of a microhologram, proportional to the local intensity of the interference between the signal and reference beams $(E_r + E_s)^2$. The black is the unchanged background refractive index and the gray scale presents the increases of the refractive index attributable to the exposure

빔의 복사조도 파워는 감소하게 된다. 본 논문의 시뮬레이션에 사용된 광학계의 사양은 다음과 같다. 532nm 의 레이저 파장과 NA=0.17 의 분해능을 가지는 무수차 대물렌즈, 1.53 의 굴절률을 가지는 photopolymer 홀로그래픽 미디어이고 미디어의 사이즈는 0.6mm 의 샌드위치 타입의 글라스 미디어에 400μm 의 기록층 두께는 가진다. 샌드위치 타입의 미디어는 폴리머의 형상의 변화를 없애기 위해서 미디어의 두께보다는 두꺼운 물질로 설계되어야 한다. 또한, 400μm 두께의 기록층 두께는 75 층의 데이터를 기록하기 위한 멀티레이어 depth multiplexing 을 수행하기 위해서 설계되었다. 기록된 홀로그램의 사이즈는 2.45 μm 의 full width half maximum (FWHM)을 나타내고 z 방향으로는 약 3 μm 의 초점심도를 형성한다. 시뮬레이션 결과의 x 축은 z 방향의 홀로그램의 거동을 나타내고 y 축은 반경방향의 홀로그램의 거동이다. 각각의 축 방향은 파장단위의 스케일로 계산되었다.

재생시 측정되는 빔의 복사조도의 세기는 기록된 빔의 복사조도 세기보다 더 작은 값을 가진다. 더 작은 값을 나타내는 이유는 대물렌즈를 통하여 집속된 빔이 공기-유전체 폴리머 계열의 홀로그래픽 미디어에서 반사되어 나오는 신호의 양이 작기 때문에 나타난다. 또한, 기록된 마이크로 홀로그램의 전체 볼륨의 크기가 작기 때문에 회절효율은 대략적으로 1%를 나타낸다 [3]. 기록된 마이크로 홀로그램의 재생은 reference 빔의 반사

에 의한 광원이 그림 1 의 polarizer 의 뒤에 위치한 대물렌즈를 통하여 집속된 광원으로 검출한다. 또한, 기록과 동일한 빔의 형상을 만들기 위해서 QWP 를 추가하였다.

3. 마이크로 홀로그램 실험

홀로그램 실험의 정확성을 검증하기 위해서 FWHM 해석을 수행하였다. 초점영역에서 빔의 세기는 다음과 같은 식에 의해 정의되었다.

$$\tilde{I}_{norm}(r,\varphi,z=0)=\left(\frac{2J_1(NAk_0r)}{NAk_0r}\right)^2. \qquad (1)$$

식 1 은 Airy ring 의 사이즈 계산을 위한 빔의 식이며 식 1 의 정의에서 FWHM 은 Airy ring 의 $0.514\lambda_0$/NA 값으로 정의하였다. 여기서, J_1 은 1 종 베셀함수, k_0 는 공기중에서의 전파벡터, r 은 x-y 평면의 반경을 나타내고 NA 는 광학렌즈의 유효개구수를 나타낸다.

그림 4 에 기록된 홀로그램의 사이즈 측정을 위한 실험장치를 나타내었다. 다층기록의 정확성을 위해서 25nm 의 분해능을 가지는 3 축 구동 스테이지를 사용하여 실험의 정밀도를 향상시켰다.

그림 5 는 스칼라 회절이론에 의하여 계산된 초점영역에서의 필드분포와 실험결과를 나타낸다.

실험의 정량적 분석을 위해서 각각의 기록층에서 10 번의 재생 실험을 진행하였고 기록된 4 개의 기록층의 위치는 10μm 떨어진 곳에서의 FWHM 을 측정하였다. 그림 6 은 2,3,4 기록층에서 획득한 실험결과를 나타내었고 각각의 기록층에서 동일한 빔의 형상과 크기를 나타내었다.

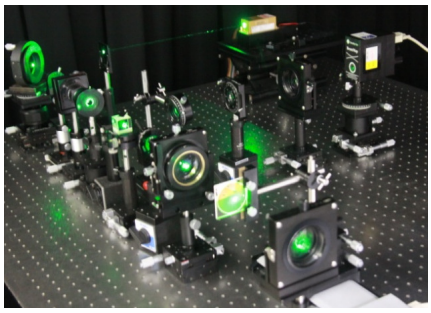
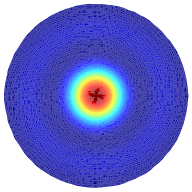
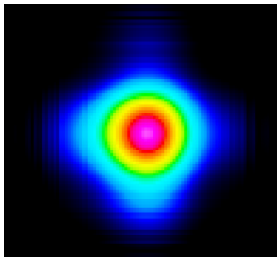


Fig.4 Experimental set-up for evaluation of FWHM



(a)



(b)

Fig.5 The field distribution for NA = 0.17 and 532nm wavelength in the output plane. (a) The calculated intensity distribution (b) Experimental results

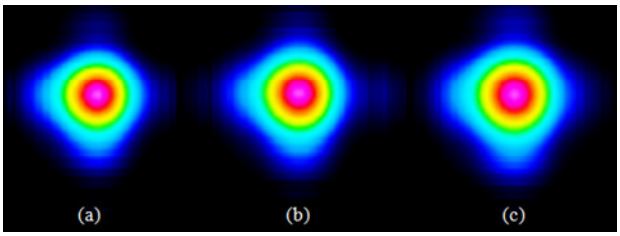


Fig.6 The field distribution for NA = 0.17 and 532nm wavelength in the output plane. (a) second layer hologram (b) third layer hologram (c) fourth layer hologram

현재 마이크로 홀로그래픽 저장기술은 75 층의 기록 및 재생을 목표로 연구되고 있지만, 본 논문에서는 다층기록의 가능성 확인을 위해서 4 개의 기록 층에서의 기록 및 재생 실험을 진행하였다.

4. 공초점 필터 설계

이전 섹션에서는 마이크로 홀로그래픽 저장기술의 기록 및 재생을 위한 광학적 특성을 보고하였다. 하지만 이번 섹션에서는 기록된 마이크로 홀로그램의 근접한 기록층과의 cross-talk 문제를 해결하기 위한 공초점 필터의 Fraunhofer 회절이론을 바탕으로 광학적 설계 및 회절현상에 관여 연구할 것이다.

공초점 필터는 마이크로 홀로그램뿐만 아니라 많은 광학 현미경 연구분야에서 빔의 분해능 강화를 위해서 연구되고 있다 [4].

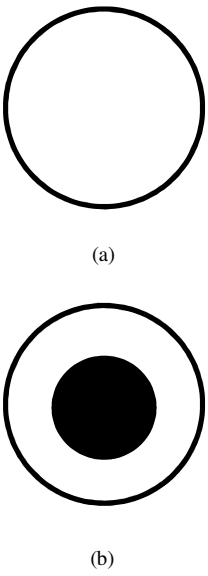
특히, 마이크로 홀로그램에서는 재생시 발생하는 노이즈를 제거하기 위해서 반드시 필요한 광학소자이다. 또한, 온도 및 외부 환경에 의하여 발생하는 색수차로 인하여 발생하는 노이즈를 공초점 필터를 사용하여 제거할 수 있다.

그림 7 에 2 가지 다른 형상의 공초점 필터를 나타내었다. 본 연구에서는 원형 및 고리형상의 필터를 Fraunhofer (원거리계) 회절현상을 바탕으로 수행할 것이다.

Fraunhofer 회절은 필수적으로 입사파와 회절가 모두 평면파일 때 일어난다. 즉 회절면에 대해서 파면의 곡률을 무시할 수 있는 영역에서이다.

홀로그래픽에서 관심 있는 성분은 초점에 형성된 격자의 회절효율이다 [5]. 회절효율은 입사된 복사조도중에서 회절 격자의 단일 회절 차수에 나타나는 복사조도의 세기로 정의한다.

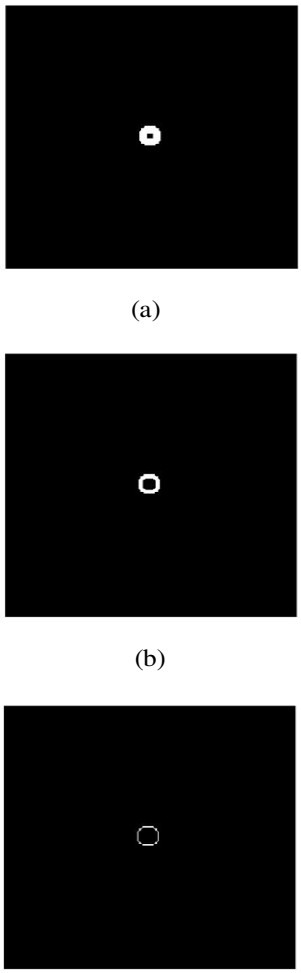
그림 8 에 고리형상의 설계된 공초점 필터를 나타내었다. 10μm 이하의 바깥영역의 사이즈는 광학정렬상의 어려움이 발생하기 때문에 본 논문에서는 고려하지 않았다. 고리형상의 내부 원의 사이즈는 차단영역을 30,60,90%로 차단하여 그림 9 에 시물레이션 결과를 나타내었다.



(a)

(b)

Fig.7 Confocal filter for reading of micro
(a) hologram circle filter and (b) annular filter



(a)

(b)

(c)

Fig. 8 Annular aperture of 10μm outer ring. Note : blocking ratio (a) 30% (b) 60% (c) 90%

원형고리 내부의 차단된 영역의 비율이 증가할수록 0 차 빔의 크기는 감소되지만 1 차 및 다른 차수의 빔의 크기는 증가한다. 이에 따라, 0 차빔의 크기가 감소하게 되고 Mahajan'의 Strehl ratio (SR)의 정의에 따라 재생빔의 분해능은 감소하게 된다. 또한, 감소된 0 차 빔의 파워는 원본 재생된 신호보다 더 많은 광량이 감소하게 되어 회절효율은 떨어지게 되므로 고리형상의 공초점 필터는 마이크로 홀로그래픽 저장장치에는 적합하지 않다.

재생신호의 노이즈 성분이 없는 홀로그램과 광 파워 조절을 위한 공초점 필터와 회절패턴을 그림 10 에 나타내었다.

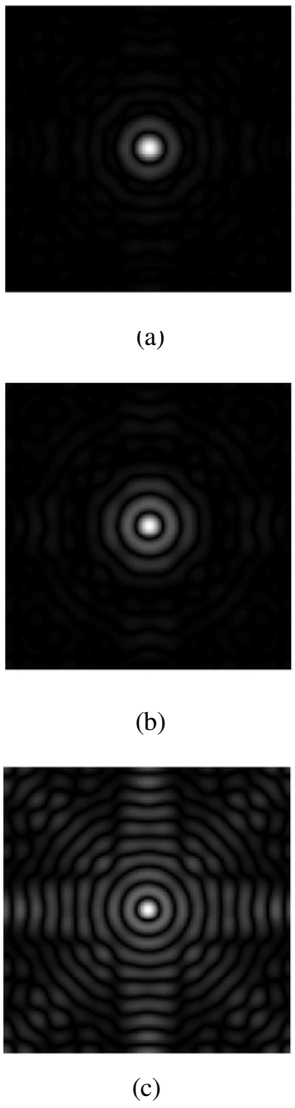


Fig. 9 Fraunhofer pattern of annular aperture 30% retardation ratio (b) 60% retardation ratio (c) 90% retardation ratio

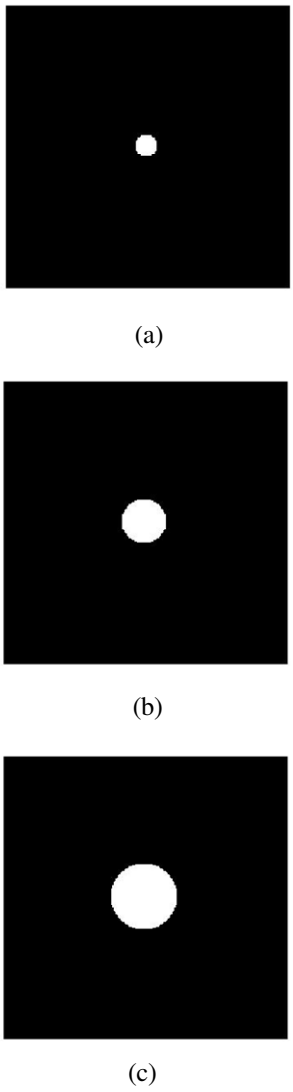


Fig.10 Circle aperture (a) 10μm outer ring(b) 20μm outer ring (c) 30μm outer ring.

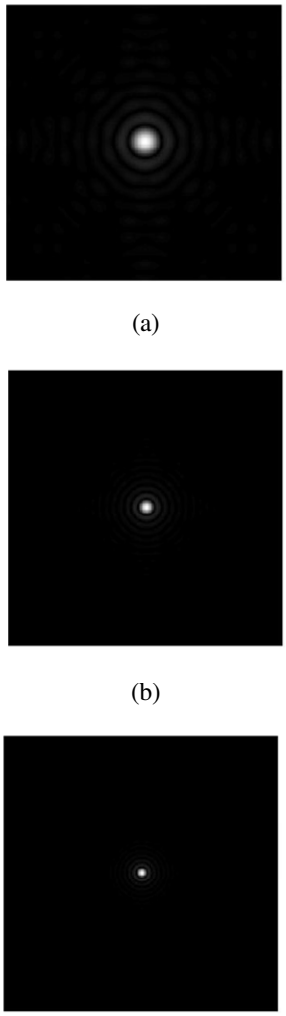
그림 9 에서는 다층 기록의 재생신호만을 고려하였는데 그림 10 에서는 트랙방향의 노이즈 성분까지 고려된 공초점 필터의 효과에 관하여 연구를 진행할 것이다.

원형 공초점 필터의 직경을 10,20,30 μm 로 증가시키면서 Fraunhofer 패턴을 확인하였다. 필터의 반경이 증가할수록 회절패턴의 사이즈는 감소하였다. 이 현상은 필터의 사이즈가 작을수록 필터를 통과하는 빔은 더 큰 각도로 발산한다는 것을 의미하고 그림 11 에 그림 10 의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 필터의 반경이 증가한다면 근접한 트랙의 기록된 홀로그램도 재생될수 있고 빔의 사이즈가 작다면 tilt 와 defocus 에 의한 신호를 확인하기 어렵기 때문에 마이크로홀로그래픽 저장기술에서는 10 μm 필터사이즈가 가장 적합할 것으로 분석하였다. 또한, 고리형상의 필터의 사이즈와 비교하여 동일한 결과를나타낸다.

이것은, 다음과 같은 방법으로 표현할 수 있다. 고리형상의 최적화된 필터보다 간단한 제작 및 쉬운 광학 정렬로 더 좋은 성능을 나타낼 수 있다는 것을 의미한다.

5. 결 론

본 연구에서는 마이크로 홀로그램의 기록 및 재생을 위한 광학적 특성을 연구하였다.



(a)

(b)

(c)

Fig.11 Fraunhofer pattern of circle A perture (a) 10μm (b) 20μm (c) 30μm diameter ring

노이즈 및 재생신호의 개선을 위해서 공초점 필터의 다양한 형상 및 사이즈에 따른 회절현상을 분석하여 마이크로 홀로그래픽 저장장치에 최적화된 광학시스템을 제안하였다.

후 기

이 논문은 2009 년도 기초과학연구의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2009-0089634).

참고문헌

[1] H. J. Coufal, D. Psaltis and G. T. Sincerbox, eds, Springer-Verlag, 2000, “Holographic Data Storage”, Springer, Series in Optical Sciences.

[2] Eichler H J, Kuemmel P, Orlic S and Wapplet A, 1998, “High-density disk storage by multiplexed microholograms”, IEEE J. Selected Topics Quantum Electron Vol.4, No.5, pp.840-849.

[3] Zsolt Nagy, Pal Koppa, Enrico Dietz, Sven Frohmann, Susanna Orlic and Emoke Lorincz, 2007, “Modeling of multilayer microholographic data storage”, Appl. Optics. ,vol. 46, No. 5, pp. 753-761.

[4] Michael J. Nasse and Jorg C. Woehl, “Realistic modeling of the illumination point spread function in confocal scanning optical microscopy”, J. Opt. Soc. Am. A., Vol. 27, No. 2, pp.295-302.

[5] J. W. Goodman, “Introduction to Fourier Optics”, McGraw-Hill, San Fransisco, 1996. Chap. 4.