

# 마이크로홀로그래픽 스토리지를 위한 편광다중화기법 Polarization Multiplexing Method for Micro Holographic 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\*

(2010년 9월 13일 접수; 2010년 9월 15일 심사완료; 2010년 9월 17일 게재확정)

## Abstract

In this paper, we investigate the polarization multiplexing for micro holographic storage. The proposed multiplexing method is performed by using crystal media that use photorefractive materials such as Fe-doped LiNbO<sub>3</sub>. We discuss the feasibility of fast recording, high capacity and transfer rate for polarization multiplexing method. Finally, we experimentally verify the proposed method using polarization selectivity.

**Key Words :** Micro Holographic Storage, Polarization Multiplexing, Photorefractive Materials

## 1. 서론

마이크로 홀로그래픽 저장방식의 장점은 기존의 ODD와 호환할 수 있고 저장매질의 전체볼륨의 사용과 다중화기법 (multiplexing method)을 사용하여 많은 정보를 기록할 수 있다 [1]. 저장매질의 전체볼륨의 사용은 다층기록(multi-layer), 파장(wavelength), 각도와 파장의 결합 등의 다중화 기법을 통하여 연구되어 왔다. 다층저장방식에서 기록밀도를 높이기 위해서는 high NA (0.85) & short wavelength (405nm)의 광학계를 사용하여 75층의 기록밀도를 가지는 광학시스템이 연구되었다 [2]. 파장중첩 기록방식은 3개의 다른 레이저 광원을 사용하여 같은 기록위치에 정보를 중첩하여 기록하는 방식으로 연구되었다 [3]. 각도와 파장의 2가지 다중화 기법을 적용하는 hybrid multiplexing 방법은 최근에 NEC에서 연구되었다. 이 방식은 작게 분할된 aperture에 다른 각도와 파장을 입사시켜 기록하는 방식이다 [4]. 현재까지 보고된 다중화 기법들은 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 몇 가지 문제점은 다음과 같다. 다층 기록방식은 많은 기록 층의 개수로 인하여 구면 수차가 크게 발

생하여 광학적 성능을 저하시킨다. 파장중첩 기록 방식은 하나 이상의 레이저 광원의 사용으로 인하여 시스템이 복잡해지고 색수차를 유발시킨다. 또한, 홀로그래픽 디스크는 한가지 파장에 관하여 기록 및 재생을 수행하는데 다양한 파장에서 반응하는 디스크의 개발이 필요하게 된다. Hybrid Multiplexing 방법은 다양한 aperture를 사용하여 빠른 기록과 재생이 가능하지만 aperture의 사이즈로 인하여 NA 감소효과 및 광학적 정렬이 어렵게 된다.

본 논문에서는 마이크로 홀로그래픽 저장장치에서 정보의 simultaneous recording과 reading을 위한 편광다중화 기법을 제안한다. 제안된 편광다중화 기법은 기록 층과 레이저 광원의 개수를 줄일 수 있고 같은 위치에 다른 편광 성분을 기록할 수 있어 광학적 정렬이 쉬어진다. 또한, 파장다중화 기법은 정보를 다른 파장을 사용하여 순차적으로 기록하기 때문에 같은 재생효율을 가지기 위해서는 time schedule이 필요하지만 fast recording을 통하여 2개의 정보를 동시에 기록하기 때문에 time schedule을 하지 않아도 되는 장점을 가지고 있다. 2개의 서로 직교하는 다른 편광성분(p & s polarized lights)의 빛은 서로 간섭을 발생시키지 않는다 [5]. 그리하여, p 편광으로 기록된 정보의 같은 위치에 s 편광으로 기록되는 정보를 기록시킬 수 있다. 제안된 편광 다중화 기법을 적용하여 마이크로 홀로그래픽 저장장치에서 기록 용량 증대 및 기록 재생 속도를 향상 시킨다.

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

\* 연세대학교 기계공학과  
\*\* 연세대학교 정보저장기기연구센터(CISD)

## 2. 기록 및 재생 원리

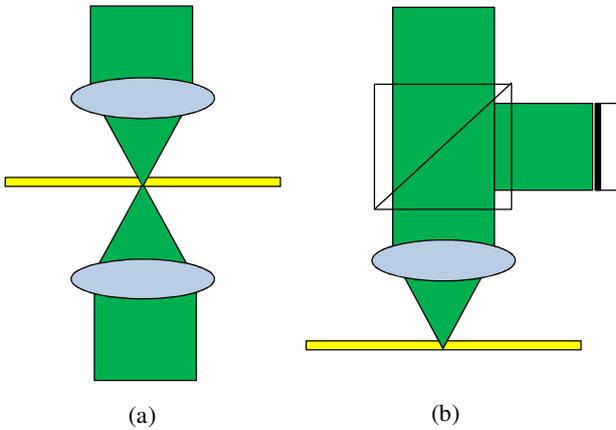


Fig. 1 (a) Recording (b) reading of micro holographic storage.

마이크로 홀로그램의 저장장치의 기록원리는 2개의 counter-propagating beam의 중첩에 의하여 마이크로 사이즈의 그레이팅 생성에 의하여 기록된다. (그림 1 (a)). 페이지 기반의 홀로그래픽 기술과는 다르게 비트단위의 정보를 다층 기록으로 중첩하여 기록할 수 있는 장점을 가지고 있다. 기록을 위한 입사되는 광원은 높은 분해능을 가지기 위하여 같은 크기와 사이즈를 가져야 한다. 기록된 마이크로 그레이팅의 재생은 보조 빔의 반사에 의하여 기록된 정보를 재생한다. (그림 1(b)).

## 3. 편광의 벡터특성

### 3.1 초점영역에서의 복사조도

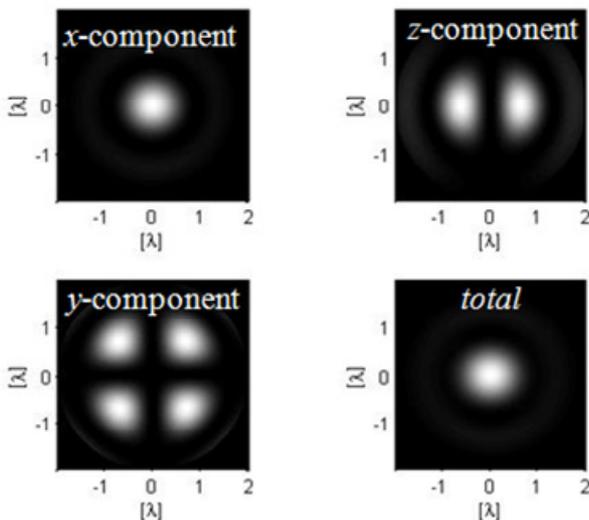


Fig. 2 Intensity distribution of *p*-polarized light.

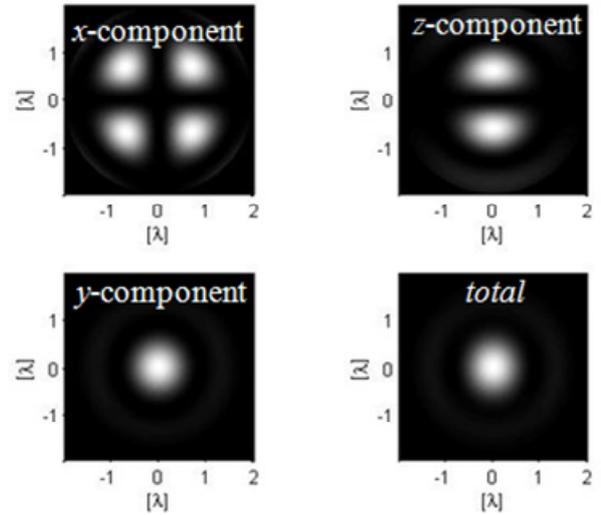


Fig. 3 Intensity distribution of *s*-polarized light.

편광 다중화기법의 가능성을 확인하기 위해서 초점영역에서의 *x*와 *y* 선형편광의 복사조도의 분포를 그림 2와 3에 나타내었다. *p* 선형편광에서 *x* 방향의 성분이 가장 크게 나타나며 *s* 선형편광은 *p* 선형편광과 반대의 형상을 나타낸다. 복사조도를 계산하기 위한 이론적 모델링은 다음과 같다.

$$E(r, z, \phi) = [I_0(r, z) + I_2(r, z) \cos 2\phi]i + I_2(r, z) \sin 2\phi j + iI_1(r, z) \cos 2\phi k \quad (1)$$

여기서  $I_{0,1,2}$ 는 입사각의 적분값을 나타낸다.

$$I_0(r, z) = \int_0^a P(\theta) \sqrt{\cos \theta} (1 + \cos \theta)$$

$$J_0(kr \sin \theta) * \exp(ikz \cos \theta) \sin \theta d\theta$$

$$I_1(r, z) = \int_0^a P(\theta) \sqrt{\cos \theta} \sin \theta$$

$$J_1(kr \sin \theta) * \exp(ikz \cos \theta) \sin \theta d\theta$$

$$I_1(r, z) = \int_0^a P(\theta) \sqrt{\cos \theta} (1 - \cos \theta)$$

$$J_2(kr \sin \theta) * \exp(ikz \cos \theta) \sin \theta d\theta \quad (2)$$

$P(\theta)$ 는 렌즈의 동공면에서의 진폭투과를 나타내고  $\alpha$ 는 입사하는 렌즈의 최대입사각을 나타내고  $\phi$ 는 입사하는 전기장의 편광방향을 나타낸다.

### 3.2 간섭무늬

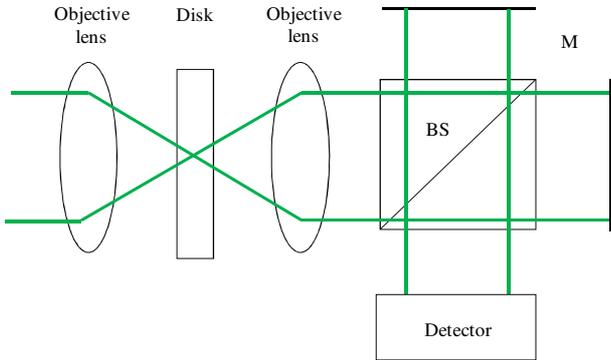


Fig. 4 Interferometer

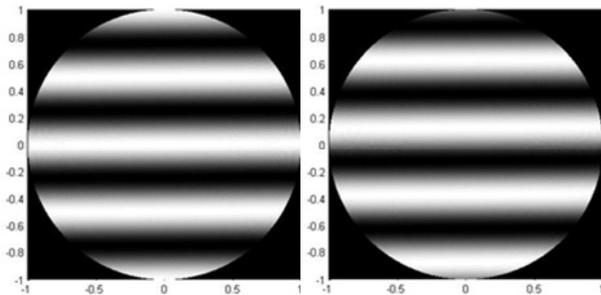


Fig. 5 Interference pattern

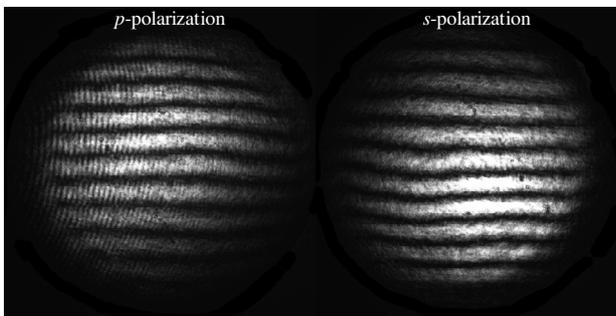


Fig. 6 Experimental result

편광 다중화기법의 가능성을 확인하기 위한 동공면에서 검증하기 위하여 간섭무늬를 해석하였다. 그림 4 는 간섭무늬를 획득하기 위한 Twyman-Green interferometer 를 나타낸다. 2 번째 대물렌즈를 통과한 광원이 Beam splitter (BS)를 통과한 후 2 개의 미러에 반사되고 반사된 광원은 검출기에서 간섭무늬를 형성하게 된다. 그림 5 는 *p* 및 *s* 선형 편광의 간섭무늬를 나타낸다. 2 개의 간섭무늬의 패턴 간격은 각각 90° 위상차를 나타내어 2 개의 편광 정보는 서로 간섭을 일으키지 않는다. 그림 6 에 *p* 와 *s* 편광된 간섭무늬의 실험결과를 나타내었다.

## 4. 편광중첩기록

### 4.1 편광 선택성

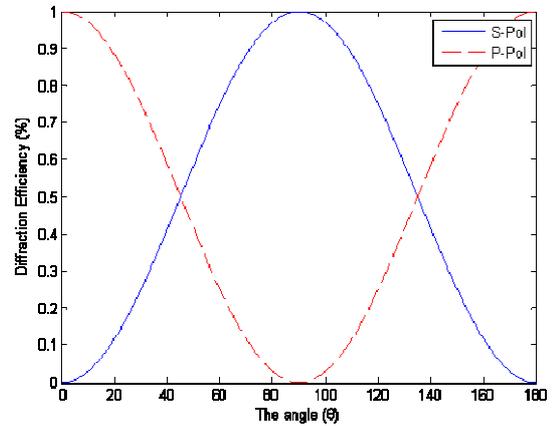


Fig. 7 Polarization Selectivity.

페이지 기반의 홀로그래픽 저장방식에서는 데이터의 저장 밀도와 재생속도를 향상시키기 위해서 편광 다중화 기법을 적용하여 연구되었다 [6,7].

하지만, 마이크로 홀로그래픽 저장장치에서는 아직 편광 다중화 기법이 적용되지 않았다. 그리하여 이 방법을 적용하여 기록밀도 향상과 재생속도 향상 및 기록층 감소로 인한 광축정렬의 어려움을 해결하였다.

마이크로 홀로그래픽 저장장치에서 편광 다중화 기법의 타당성을 검증하기 위하여 편광 선택성 (polarization selectivity)을 시뮬레이션 하였다.

그림 7 에 편광선택성의 회절효율을 나타내었다. 그림에서와 같이 각각 다른 편광성분으로 기록된 정보를 재생할 경우에 위상이 90° 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 시뮬레이션 결과는 Runge-Kutta method 를 사용하여 간략히 나타내었다 [8].

$$I_{R,s}(0) = I_R(0) \sin^2 \varphi$$

$$I_{R,p}(0) = I_R(0) \cos^2 \varphi$$

$$I_{S,s}(0) = I_S(0) \cos^2 \varphi$$

$$I_{S,p}(0) = I_S(0) \sin^2 \varphi$$

여기서,  $I_R(0)$  와  $I_S(0)$ 는 보조빔과 신호빔의 입사빔의 복사조도를 나타낸다.

### 4.2 실험

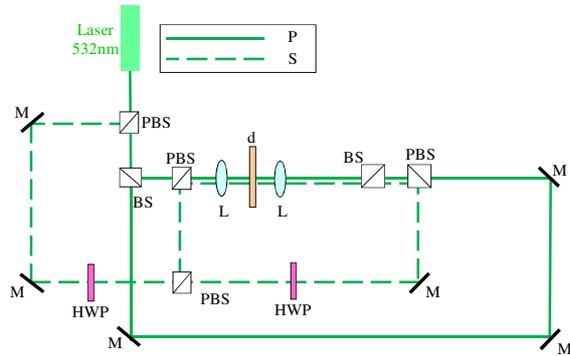


Fig. 8 Recording experimental setup.

편광 다중화 기법의 기록을 수행하기 위한 실험 장치도는 그림 8 과 같다. 532nm 의 레이저 광원이 polarization beam splitter (PBS)를 통과하여 *p* 편광된 광원은 직진하고 *s* 편광된 광원은 90° 반사하게 된다. 분리된 2 개의 광원은 편광 다중화 기법을 위하여 미디어에 *p-p* & *s-s* 편광된 신호빔과 보조 빔으로 입사하게 된다. 실험을 위해 사용되는 미디어는 편광에 의해 다르게 반응하는 크리스탈 미디어가 사용되었다. 그림 8 에서 사용된 half wave plate (HWP)는 *s* 편광된 광원의 편광성분과 파워비율을 조정하기 위해서 사용되었다. 또한, 기록을 위하여 사용된 광학계의 numerical aperture (NA)는 0.24 의 개구수를 가지는 대물렌즈가 사용되었다.

연속적으로 기록되는 기존의 시스템은 미디어에 반응할 경우 time scheduling 이 필요하다. 하지만, 위와 같이 구성된 광학 시스템은 2 개의 정보를 동시에 기록할 수 있어서 time scheduling 이 필요 없게 된다. 기록밀도의 향상과 함께 입사하는 빔의 에너지 비율을 제어할 필요가 없게 되므로 실제 마이크로 홀로그래픽 저장장치에서 우수한 성능을 확보할 수 있다.

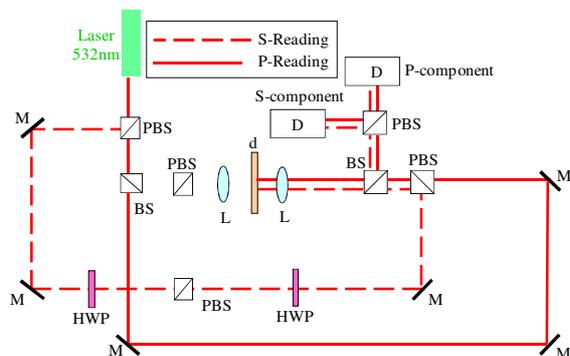


Fig. 9 Reading experimental setup.

*p* 와 *s* 편광된 빛으로 동시에 기록된 광원을 동시에 재생하기 위한 실험 장치도는 그림 9 와 같다. 2 개의 기록된 정보를 동시에 재생하기 위해서 PBS 와 2 개의 신호 검출기를 사용하였다. 동시에 재생된 2 개의 광원이 PBS 를 통과한 후 *p* 편광으로 재생된 광원의 빔의 직진하여 신호가 검출되고 *s* 편광으로 재생된 광원은 다른 검출기에서 신호를 검출하게 된다.

2 개의 다른 편광성분을 기록하기 위한 빔의 파워는 40mW 의 세기로 신호빔과 보조빔에 각각 입사되었다. 재생시 회절효율은 400μW 의 반사된 광량을 획득하였다. 2 개의 각각 재생된 빔의 회절효율은 1% 정도의 값을 나타내었다. 또한, 그림 10 에 *p* 편광으로 기록된 정보를 HWP 를 회전시키면서 측정한 효율을 나타내었다. 수평축의 값은 HWP 의 회전각을 나타내고 수직축은 재생된 파워의 정규화된 값을 나타낸다.

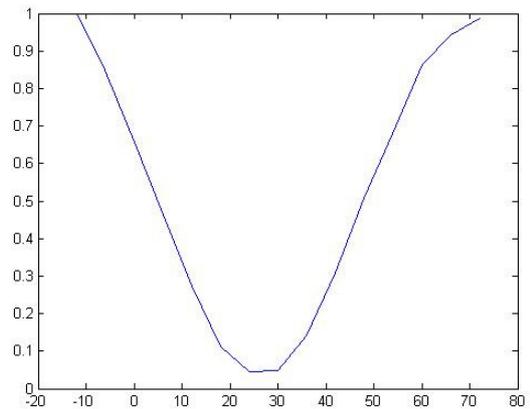


Fig. 10 Measured diffraction efficiency.

## 5. 결론

마이크로 홀로그래픽 저장장치에 편광 다중화 기법을 적용하기 위한 이론적/ 실험적 연구를 수행하여 차세대 광 저장장치에서 고밀도 저장용량과 빠른 기록 및 재생을 위한 실험을 수행하기 위한 다중화 기법으로 광학적 성능을 증가시켰다. 이러한 연구결과로부터 현재 마이크로 홀로그래픽 저장장치에서 문제점을 가지고 있는 광축 정렬의 어려움 또한 개선시켰다. 홀로그래픽 저장장치에서 불확실한 time scheduling 로 인하여 야기되는 불안정한 재생효율 문제를 동시기록으로 해결함으로써 안정적인 재생효율을 획득하였다.

## 후 기

이 논문은 2010 년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2010-0028140).

## 참고문헌

- [1] Raghavendra Jallapuram, Izabela Naydenova, Suzanne Martin, Robert Howard, Vincent Toal, Sven Frohmann, Susanna Orlic and Hans J. Eichler, 2006, "Acrylamide-based photopolymer for microholographic data storage", *Opt. Materials*, vol.28, pp1329-1333.
- [2] Sussana Orlic, Enrico, Timo Feid, Sven Frohmann, Henning Markotter and Jens Rass, 2009, "Diffraction limited microholographic recording for Terabyte optical disk", *Technical Digest of CLEO Europe - EQEC'09, European Conference on*.
- [3] H. J. Eichler, P. Kuemmel, S. Orlic, B. Schupp and A. Wappler, 1998, "Wavelength Multiplexing for the Microholographic Storage Disc", *SPIE Proceedings Paper*, vol. 3401, pp177-186.
- [4] Ryuichi Katayama and Yuichi Komatsu, 2009, "Microholographic recording with wavelength and angle multiplexing", *Proc. of SPIE*, vol. 7730, pp773008-1.
- [5] Haoyun Wei, Liangcai, Zhenfeng Xu, Qingsheng He and Guofan Jin, 2006, "Orthogonal polarization dual-channel holographic memory in cationic ring-opening photopolymer", *Opt. Express*, vol. 14 No. 12, pp 5135-5142.
- [6] Wei-chia Su, Ching-Cheng Sun, Nikolai Kukhtarev and Arthur E. T. Chiou, 2003, "Polarization-multiplexed volume holograms in LiNbO3 with 90-def geometry", *Opt. Eng.*, vol. 42 No. 1, pp 9-10.
- [7] Wei-chia Su, Chung-Ming Chen and Yueh Ouyang, 2007, "Orthogonal polarization simultaneous readout for volume holograms with hybrid angle and polarization multiplexing in LiNbO3", *Appl. Optics*, vol. 46 No. 16, pp 3233-3238.
- [8] Bao-Lai Liang, Zhao-Qi Wang, C. M. Cartwright, Hui Zhang, Mei-Song Ding and W. A. Gillespie, 2001, "Holographic recording with orthogonally polarized beams in a cesium-doped (K0.5Na0.5)0.2(Sr0.75Ba0.25)0.9Nb2O6 Crystal", *Appl. Optics*, vol.40No 26, pp4667-4671.