

비트 방식 홀로그래프 정보저장 장치의 다중화 방법

박우제 · 김성필 · 송석호[†] · 오차환 · 김필수

한양대학교 물리학과 마이크로광학 연구실
Ⓣ 133-790 서울특별시 성동구 행당동 17번지

김지덕

삼성전자(주) 종합기술원
Ⓣ 449-712 경기도 용인시 기흥읍 농서리 14-1번지

(2005년 8월 8일 받음, 2005년 10월 18일 수정본 받음)

비트 방식 홀로그래프 정보저장 장치는 페이지 방식에 비해서 상용화 하는데 있어서 구성이 간단하고 작은 크기로 설계가 유리한 점 등의 많은 장점을 가지고 있다. 하지만 페이지 방식처럼 하나의 기록점에 2차원 면 정보를 이용해서 높은 저장밀도를 기대 할 수 없는 대신 다중화의 다양화가 필요하다. 본 논문에서는 회전 다중화와 각도 다중화를 동시에 용이하게 할 수 있는 비트 방식 홀로그래프 정보저장 장치용 광학계를 제안하고 광학계의 선택도 및 특성 분석, 초점면에 72개의 비트 홀로그래프 다중화 실험, 기존 DVD의 10배 정도되는 단위면적당 저장밀도 산출로 본 광학계의 가능성을 검증하였다.

주제어 : Bit type holographic data storage, Holographic optical element, Peristrophic multiplexing, Angular multiplexing.

I. 서 론

홀로그래프를 이용한 정보저장 장치는 3차원 공간의 한 점에 대량의 2차원 면 정보를 저장할 수 있는 페이지 방식의 연구가 주로 진행되어 왔다.^[1-6] 하지만 페이지 방식의 홀로그래프 정보저장장치는 높은 저장밀도를 위해서 데이터 페이지의 화소(pixel)수를 1.0 M(mega)-pixel 이상 사용하게 되는데 데이터 입/출력 장치인 SLM(spatial light modulator)과 CCD(charge coupled device)간의 pixel-matching을 위해서는 수차가 작은 매우 정밀한 렌즈를 사용해야 하며, 구성장치의 정렬도 매우 정교해야 한다. 이러한 문제점 및 구성장치의 고가성, 소형화의 어려움 등의 원인으로 인해서 상용화의 많은 문제들이 남아있다.^[7-12] 이런 문제점을 해소하고자 시도되고 있는 비트 방식 홀로그래프 정보저장 장치는 기존의 광디스크 방식과 홀로그래프 방식의 장점인 다중화를 접목하고 소형화에 유리하도록 광학계를 구성해서 여러 개의 1차원 비트 데이터들을 3차원 공간상의 한 점에 저장하는 방식이다.^[13,14] 비트 방식은 페이지 방식처럼 2차원 데이터 페이지로 높은 저장밀도를 기대할 수 없으므로 다중화의 다양화가 필요하다. 본 논문에서는, 각도 다중화(angular multiplexing)와 회전 다중화(peristrophic multiplexing) 기법을 동시에 사용하는 비트 방식 홀로그래프 정보저장 장치용 광학계를 제안하였으며, 선택도 및 특성 분석, 비트 홀로그래프 다중화 실험, 최대 단위 면적당 저장밀도 산출을 통하여 가능성을 입증하였다.

그림 1은 본 논문에서 제안하는 부피 홀로그래프 격자로 제

작된 두 개의 HOE(Holographic Optical Element)를 이용한 비트 방식 홀로그래프 정보저장 장치용 광학계이다. 광원이 HOE-1로 입사하면 두 개의 빔으로 나누어지고, HOE-2가 기준빔(reference beam)과 신호빔(signal beam)을 평행하게 만들어 준다. HOE-1과 HOE-2의 간격이 변화함에 따라서 렌즈를 통해 집속 되기 전의 기준빔과 신호빔의 간격이 변화하고 이에 따라서 렌즈를 통해 렌즈의 초점면에 위치한 기록매질(recording medium)로 집속 되는 기준빔과 신호빔간의 각도가 변화한다. 이를 이용해서 각도 다중화를 할 수 있으며 2개의 HOE전체가 회전함에 따라서 회전 다중화를 할 수 있다. 또한, 그림 2와 같이 HOE의 회전과 간격변화가 가능한 구

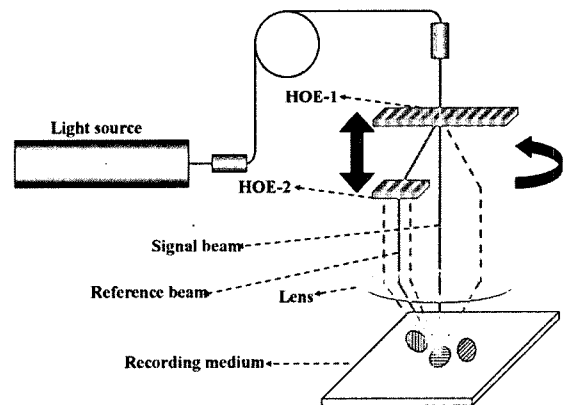


그림 1. 제안된 비트방식 홀로그래프 정보저장장치용 광학계의 다중화 원리.

[†]E-mail: shsong@hanyang.ac.kr

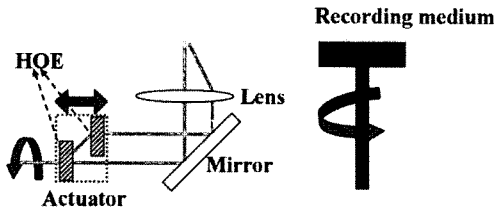


그림 2. 제안된 광학계를 이용한 상용 시스템 개략도.

동부분(actuator)을 구성하고 작은 크기로 구성이 용이 할 수 있도록 거울로 광경로를 조절하면 기존 페이지 방식에 비해서 작은 크기로 구성이 용이하다.

II. 제안된 광학계의 선택도 및 다중화

2.1 선택도(selectivity)

그림 3은 제안된 광학계의 회전 다중화와 각도 다중화 과정을 설명하기 위한 개략도이다. 두 개의 HOE(HOE-1, HOE-2), 광 집속용 렌즈, 그리고 홀로그래프 기록매질로 구성되어 있으며 HOE-1로 입사된 평행빔(incident beam)이 신호빔과 기준빔으로 나뉘어 HOE-2로 입사되고 렌즈에 의해 기록매질 내의 한 점으로 집속되면서 신호빔과 기준빔이 간섭을 하게 된다. 광원의 파장을 λ , 렌즈의 초점거리를 f , 기록매질의 두께와 굴절률을 t 와 n , HOE-1로부터 분리되는 신호빔과 기준빔간의 각도를 θ_1 , 기록매질 내에서 신호빔과 기준빔의 간섭 각도를 θ_2 라 하면,

HOE-1과 HOE-2의 간격이 d 라 할 때, θ_1 과 θ_2 의 관계는 다음과 같이 주어진다.

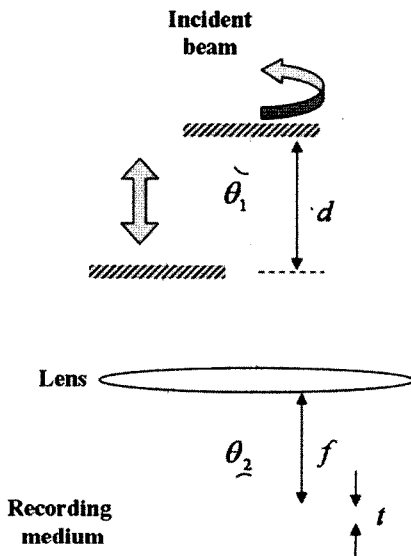


그림 3. 구동부분의 개략도.

$$\theta_2 = \arctan\left(\frac{d \tan \theta_1}{f}\right) \quad (1)$$

위의 수식 (1)에 의해 결정되는 θ_2 에 따라서 회전 다중화의 회전 선택도(peristrophic selectivity) $\Delta\theta_p$ 와 각도 다중화의 각도 선택도(angular selectivity) $\Delta\theta_a$, 그리고 $\Delta\theta_a$ 를 만들기 위한 HOE간의 변위 Δd 는 다음과 같다.^{[1], [15-17]}

$$\Delta\theta_p = \left[\frac{2\lambda}{t \sin^2 \theta_2} \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$\Delta\theta_a = \frac{8\lambda}{\pi n t \sin \theta_2} \quad (3)$$

$$\Delta d = f \frac{\tan \Delta\theta_a}{\tan \theta_1} \quad (4)$$

그림 4는 제안된 광학계의 선택도 분석을 위한 실험 장치 구성의 개략도이다. 532 nm의 광원을 빔 확장기(beam expander)와 렌즈(L₁)로 평면파가 되도록 만든 후, 빔 분할기(beam splitter)로 신호빔과 기준빔으로 나누고 동일한 초점 거리를 갖는 두 개의 렌즈(L₂)를 이용해서 제안된 광학계 처럼 초점면의 작은 면적에 비트 홀로그래프를 기록하고 재생 시 기준빔만을 조사시켜서 재생 된 신호빔의 광의 세기로 각도 및 회전 선택도 측정을 하였다. 사용된 기록매질은 DuPont사의 두께 100 μ m의 HRF 150X001-100 포토폴리머 필름(photopolymer film)을 사용하였다.

그림 5(a)는 수식 (2)의 회전 다중화에 대한 회전 선택도 $\Delta\theta_p$, 그림 5(b)는 수식 (3)의 각도 다중화에 대한 각도 선택도 $\Delta\theta_a$ 의 측정결과 및 계산결과를 보여준다. 각각의 선택도는 θ_2 로부터 벗어난 정도(deviation angle)에 대해 회절된 광의 효율(diffraction efficiency)인 sinc 함수가 최대로부터 첫 번째 0의 값을 갖는 지점까지로 정의된다.^[1] $\lambda = 532$ nm, n

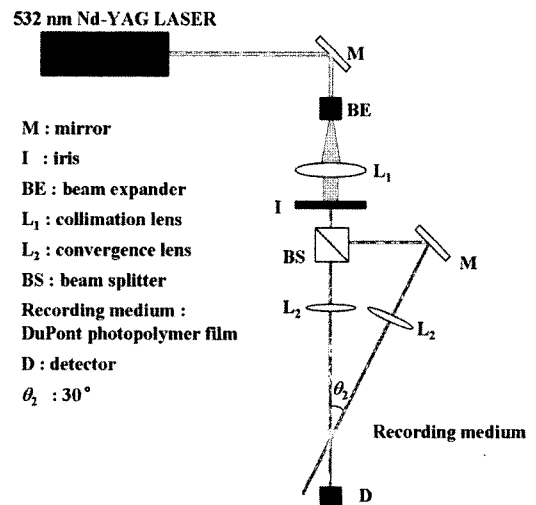


그림 4. 회전 및 각도선택도 분석을 위한 실험장치 개략도.

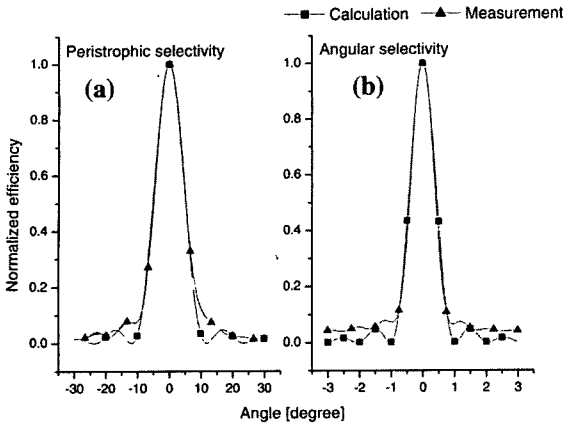


그림 5. 회전 및 각도선택도 분석 결과.

= 1.5, $t = 100 \mu\text{m}$, $\theta_2 = 30^\circ$ 일 때, 실선은 계산결과로서 $\Delta\theta_p = 11.82^\circ$ 와 $\Delta\theta_a = 1.03^\circ$ 이며, 측정결과인 점선과 잘 일치 하는 것을 확인할 수 있다. 측정결과와 계산결과가 오차가 있는 것은 포토폴리머의 수축(shrinkage)^[1,18]에 의한 효과 및 비트 홀로그램이 작은 면적에 기록된 것을 고려 했을 때 실험장치의 정렬에 아주 작은 오차가 재생시 기준빔이 기록점에 항상 올바른 각도로 입사되지 못 하기 때문으로 추정 된다.

2.2 다중화

위의 선택도 분석을 바탕으로 Aprilis 사의 HMC-050-G-12-D-300 μm 포토폴리머의 한 기록점에 $0^\circ \sim 360^\circ$ 까지 $10^\circ (>\Delta\theta_p)$ 간격으로 36개의 비트 홀로그램을 회전 다중화로 기록하고 HOE 간격의 변위를 2 mm 이동해서($>\Delta d$) 다시 36개의 비트 홀로그램을 다중화 함으로서 총 72개의 비트 홀로그램을 초점면에 기록하였다. 그림 6은 비트 홀로그램 다중화 실험장치의 개략도이다. 굴절률 1.5, 크기 $18 \times 32 \times 1 \text{ mm}^3$ 인 BK-7 유리판에 선택도 측정에서 사용한 동일한 필름 포토폴리머를 부착해서 HOE를 제작, 구동부분을 구성하고 직선 스테이지(linear stage)를 이용해서 HOE간의 변위를 조정해서 각도 다중화 하였으며, 회전 스테이지(rotation stage)로 기록매질을 회전시켜서 회전 다중화를 하였다. 실험에 사용된 구성장치 수치는 $d = 20 \text{ mm}$, $\theta_1 = 30^\circ$, $f = 20 \text{ mm}$ 일 때, $\theta_2 = 41.5^\circ$, $\Delta\theta_p = 9.97^\circ$, $\Delta\theta_a = 0.5^\circ$ 이고 $\Delta\theta_a$ 를 Δd 로 환산하면 0.48 mm이다.

비트 홀로그램 다중화는 각각의 홀로그램이 균일한 회절효율을 갖도록 n 번째 다중화 된 홀로그램의 기록시간 T_n 을 다음과 같이 정의하여 적용하였다.

$$T_n = t_n - t_{n-1}, t_0 = 0, t_n = \frac{1}{2} f \left(\frac{\eta_{sat}}{M\#} \right), \eta = f(t), n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

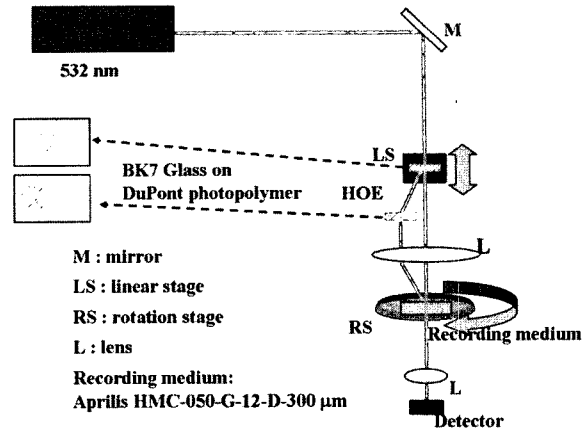


그림 6. 비트홀로그램 다중화 실험장치 개략도.

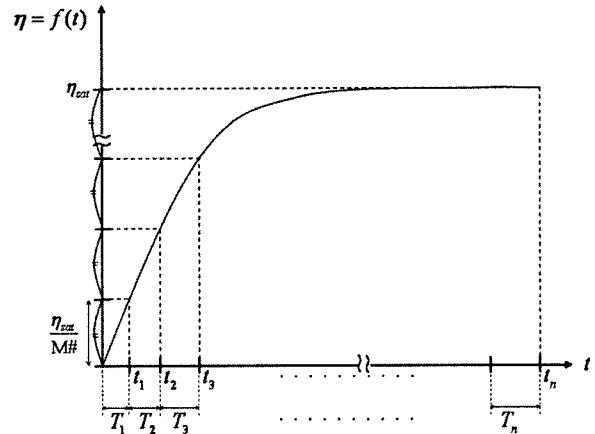


그림 7. 비트 홀로그램 다중화 실험에 적용된 시간계획법의 원리.

여기서, 기록매질의 회절효율 η 는 t 에 관한 함수이고 t_n 은 함수 f 가 $\eta_{sat}/M\#$ 일 때의 t 값들이다. η_{sat} 는 기록매질의 포화점, $M\#$ 는 홀로그램 다중화 개수, 1/2인자는 각도다중화를 이용해서 같은 개수의 회전다중화를 2번 하기 때문에 근사적으로 절반의 시간을 전체 다중화 시간에 적용한 값이다.

실험은 식 (5)를 적용하여서 기록매질의 시간에 따른 회절효율을 측정하고^[18-20] 36개의 동일 간격으로 나눈 시간의 1/2로 적용한 시간계획으로 다중화 하였다.^[4,21] 그림 8은 기록매질의 시간에 따른 회절효율 측정결과와 홀로그램 다중화 실험에 적용된 시간계획이고 그림 9는 비트 홀로그램 다중화 실험 결과이다. 1 번째와 37 번째 홀로그램이 다소 다른 부분보다 낮은 효율을 보였는데 이것은 그림 8의 기록매질의 시간에 따른 회절효율을 보면 처음 약 1초 동안의 변화가 거의 없는데 이 부분을 동일한 간격의 효율을 갖도록 나눈 시간이 다소 짧았던 것으로 추정된다.

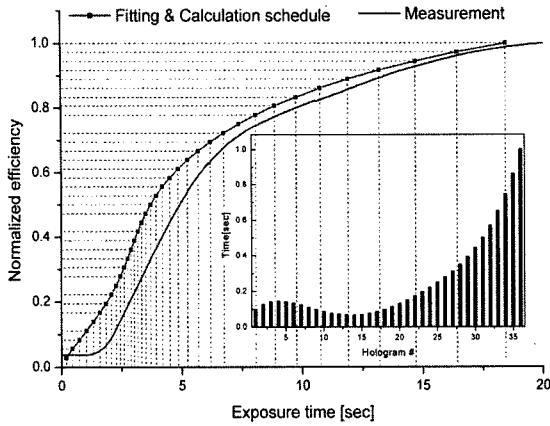


그림 8. 시간에 따른 Aprilis 사의 HMC-050-G-12-D-300 μm 포토폴리머의 회절효율 변화 및 홀로그램 다중화 실험에 적용된 시간.

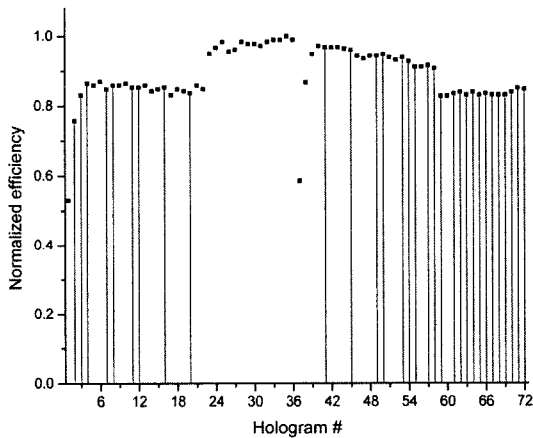


그림 9. 72개의 비트 홀로그램 다중화 실험 결과.

III. 저장밀도 분석 및 산출

3.1 저장밀도 분석

그림 10에서 보듯이 비트 홀로그램은 반지름 R 을 갖는 면적 A 에 기록된다.

여기서, 빔경(beam waist) W_0 , 초점깊이(depth of focus) z_0 의 정의는 다음과 같고^[22]

$$z_0 = \frac{\pi W_0^2}{\lambda} \quad (6)$$

$$W_0 = \frac{2\lambda f}{\pi D} \quad (7)$$

반지름 R 은 $t, \sqrt{2}W_0, 2z_0$ 의 비례관계에 의해서 다음과 같이 정의된다.

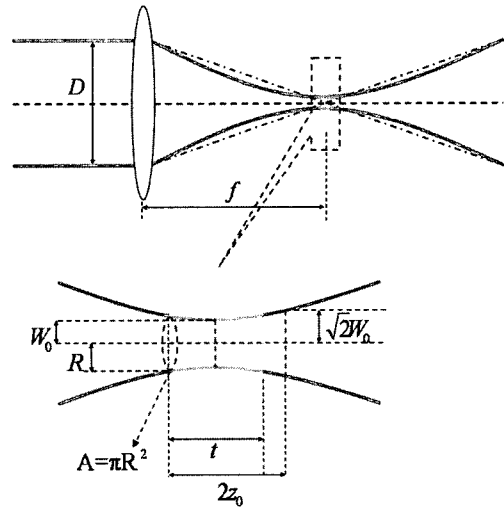


그림 10. 제안된 광학계의 기록면적.

$$R = \frac{\sqrt{2}W_0 t}{2z_0} = \frac{tD}{\sqrt{8}f} \quad (8)$$

따라서, 기록면적 A 는 다음과 같다.

$$A = \pi R^2 = \frac{\pi}{8} \left(\frac{tD}{f} \right)^2 \quad (9)$$

HOE의 간격에 따라 변화하는 θ_2 에 의해서 각도 선택도 $\Delta\theta_a$ 와 회전 선택도 $\Delta\theta_p$ 를 각각 갖게 된다. $\Delta\theta_a$ 에 의해서 결정되는 HOE간의 변위 Δd 가 i 번째 변화 했을 때를 다음과 같이 정의 하면,

$$\Delta d_i = f \frac{\tan \Delta\theta_a^{(i)}}{\tan \theta_i} \quad (10)$$

Δd_i 에 의해서 변화하는 i 번째 HOE의 길이 d 는 다음과 같이 정의되며, $\Delta\theta_a^{(i)}$ 는 i 번째의 각도선택도를 나타낸다.

$$d_{i+1} = d_i + \Delta d_i, \quad d_1 = d_{\min}, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

여기서, 첫 번째 길이 d_1 은 d 가 가질 수 있는 최소길이 d_{\min} 와 같고 이것은 다음 절에서 논하도록 하겠다.

i 번째 각도 다중화 되었을 때의 회전 선택도를 $\Delta\theta_p^{(i)}$ 라 하면, 회전 다중화 개수 $M_p^{(i)}$ 는 다음과 같이 결정되고

$$M_p^{(i)} = \frac{360^\circ}{\Delta\theta_p^{(i)}} \quad (12)$$

최종 다중화 개수 M 는 d 의 최소길이 d_{\min} 부터 $0^\circ < \theta_2 < 90^\circ$ 를 만족하는^[15] HOE의 최대 변위 d_{\max} 까지 변화했을 때의 $M_p^{(i)}$ 의 총 합인 다음과 같이 정의된다.

$$M\# = \sum_{i=\min}^{\max} M^{(i)}_p \quad (13)$$

그러므로, 수식 (9) 와 수식(14)에 의해서 비트 방식 홀로그래프 정보저장 장치의 단위면적당 저장밀도 D_A 는 기록된 비트의 개수를 N_{bit} 라고 했을 때, 다음과 같이 정의된다.^[6]

$$D_A = M\# \frac{N_{bit}}{A} = \sum_{i=1}^{\max} M^{(i)}_p \frac{8}{\pi} \left(\frac{f}{tD}\right)^2 \quad (14)$$

여기서, N_{bit} 는 하나의 비트 홀로그래프만을 기록하므로 항상 1이다.

3.2 제한 조건 분석 - 기록물질의 두께, 가능한 HOE 간격의 범위, 최적의 렌즈 초점거리

그림 11에서 보면 광학계의 구조상 기록면적의 반지름 R 이 W_0 보다 클 수는 없다. 또한 θ_2 가 beam divergence^[22] θ_0 의 2배 보다는 커야 한다.^[15] 두 조건을 수식(1) 과 (6), (7)을 대입하여 정리하면 다음과 같은 기록매질의 두께 t 와 HOE 간격 d 의 제한 조건을 얻으며 이것으로 HOE의 최소길이 d_{min} 과 기록매질의 최소 두께 t_{min} 을 정의할 수 있다.

$$\theta_2 \geq 2\theta_0 \rightarrow d \geq f \frac{\tan(D/f)}{\tan \theta_1} = d_{min}, \text{ where } \theta_0 = \frac{\lambda}{\pi W_0} \quad (15)$$

$$R \geq W_0 \rightarrow t \geq \frac{8\lambda}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{f}{D}\right)^2 = t_{min} \quad (16)$$

그림 12와 그림 13에 그 분석 결과를 나타내었다. $D = 1.0$

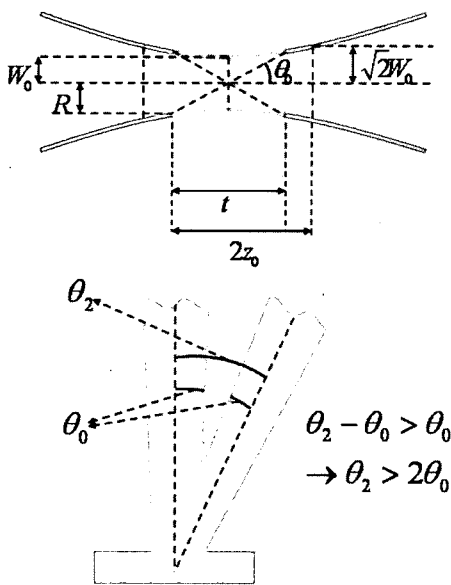


그림 11. 제안된 광학계의 구조상 제한조건.

mm, 2.0 mm, 3.0 mm, 4.0 mm 인 경우에 θ_1 에 따른 d_{min} 값(그림 11), f 에 따른 t_{min} 값(그림 12)들을 계산하였으며, 이것을 이용해서 경우에 따른 적절한 수치들로 장치를 구성하고 단위면적당 저장밀도를 계산할 수 있다.

식(13)의 $M\#$ 을 근사적으로 다음과 같이 가정하고,

$$M\# = M_a \times M_p, \text{ where } M_a = d / \Delta d, M_p = 360^\circ / \Delta \theta_p \quad (17)$$

앞에서 분석한 제한조건을 만족하는 수치 $t = 50 \mu\text{m}$, $100 \mu\text{m}$, $400 \mu\text{m}$, $D = 0.5 \text{ mm}$, 1.0 mm , 1.5 mm 인 경우, f 에 따른 근사적인 저장밀도를 계산한 그래프인 그림 10을 보면 f 가 약 10일 때 최고점을 갖는 것을 볼 수 있다. 그러므로 높은 저장밀도를 갖기 위해서 10 mm 정도의 초점거리를 갖는 렌즈를 사용하는 것이 좋은 것을 알 수 있다.

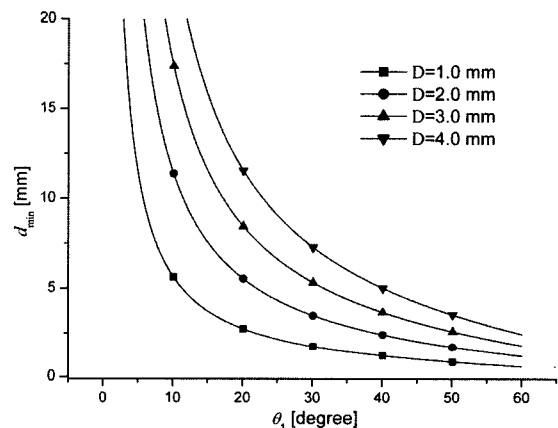


그림 12. θ_1 과 D 에 따른 HOE 간격 최소값 d_{min} 의 조건분석 그래프.

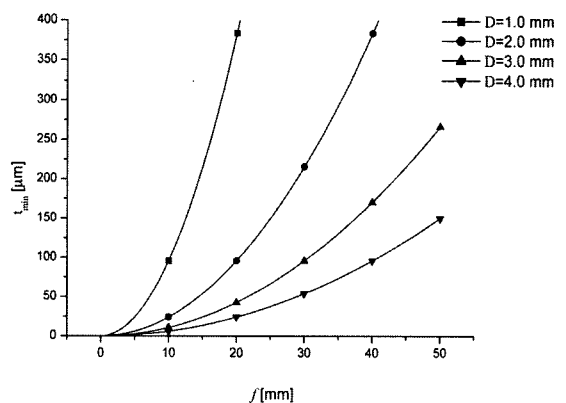


그림 13. f 와 D 에 따른 기록물질의 두께의 최소값 t_{min} 의 조건분석 그래프

3.3 저장밀도 산출

앞의 제한 조건들을 만족하는 값들을 적용해서 단위면적당 저장밀도를 산출하였다.

HOE의 간격 $d = 5 \sim 30$ mm 범위에서 변화하고, 기록매질의 두께 $t = 12 \mu\text{m}$, 첫 번째 HOE로부터 나뉘지는 두 빔의 각도 $\theta_1 = 40^\circ$, 렌즈의 초점거리 $f = 10$ mm, 사용하는 빔의 사이즈 $D = 3$ mm 라고 하면, 단위면적당 저장밀도 $D_A = 81.41 \text{ bit}/\mu\text{m}^2$ 이다. 이는 기존 DVD $7.95 \text{ bit}/\mu\text{m}^2$ 와 비교했을 때 약 10배가 되는 값이다. 그림 15는 d 에 따른 D_A , M_p , Δd 의 계산결과이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 비트 방식 홀로그래프 정보저장 장치용 광학계를 제안하였다. 제안된 광학계는 부피 홀로그래프 격자로 제작된 두 개의 HOE를 이용해서 각도 다중화와 회전 다중화를 동시에 하는데 용이하며, 기존 페이지 방식 홀로그래프 정

보저장 장치에 비해서 소형화하는데 유리한 장점이 있다. 광학계의 선택도 및 특성 분석과 그것을 바탕으로 초점면의 작은 기록면적에 비트 홀로그래프 다중화 실험을 통해서 그 가능성을 검증하였고 기록물질의 두께 및 가능한 HOE의 간격변화 제한 조건, 높은 저장밀도를 갖는 적절한 초점거리를 분석하였다. 또한 가능한 조건들을 대입해서 산출한 단위면적당 저장밀도가 기존 DVD의 10배 정도의 값을 갖는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안하는 광학계를 이용하면 차세대 TB(tera byte)급 정보저장장치로 연구되고 있는 페이지 방식 홀로그래프 정보저장장치의 상용화에 앞서서 기존 광디스크 보다는 높은 저장밀도를 가지고 상용화하기에는 보다 편리한 중간단계의 역할을 비트방식 홀로그래프 정보저장 장치가 할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 차세대 신기술개발사업의 일환인 차세대 대용량 정보저장장치의 개발(00008145) 중 삼성전자(주) 종합기술원의 위탁연구로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

본 연구에는 한양대학교의 과학기술(1)장학금(제2004-HG0244호)이 지급되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] H. J. Coufal, D. Psaltis, and G. T. Sincerbox (Eds.), "Holographic data storage", *Springer Series in Optical Sciences*, 2000.
- [2] L. d' Auria, J. P. Huignard, C. Slezak, and E. Spitz, "Experimental holographic read-write memory using 3-D storage", *Applied Optics*, vol. 13, no. 4, 1974.
- [3] J. H. Hong, I. McMichael, T. Y. Chang, W. Christian, E. G. Paek, "Volume holographic memory systems: techniques and architectures", *Optical Engineering*, vol. 34, no. 8, 1995.
- [4] A. Pu and D. Psaltis, "High-density recording in photopolymer-based holographic three-dimensional disks", *Applied Optics*, vol. 35, no. 14, 1996.
- [5] J. Ashley, M.-P. Bernal, G. W. Burr, H. Coufal, H. Guenther, J. A. Hoffnagle, C. M. Jefferson, B. Marcus, R. M. Macfarlane, R. M. Shelby, G. T. Sincerbox, "Holographic data storage", *IBM J. RES. DEVELOP.* vol. 44, no. 3, 2000.
- [6] G. Zhou, D. Psaltis and F. Mok, "Holographic read-only memory", *Optical and Quantum Electronics*, vol. 32, pp. 405-417, 2000.
- [7] S. Kim, S. Song, J. Kim, and H. Lee, "Compensation for pixel-mismatch errors in shift-multiplexed holographic data storage", *Optics Letters*, vol. 30, no. 7, 2005.
- [8] G. W. Burr and T. Weiss, "Compensation for pixel mis-

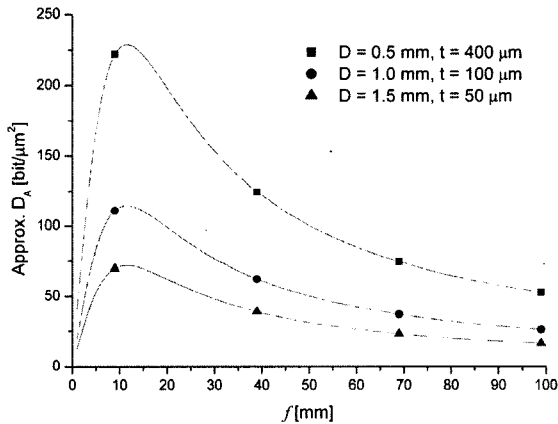


그림 14. D , f 에 따른 근사적인 단위면적당 저장밀도 Approx. D_A 의 그래프.

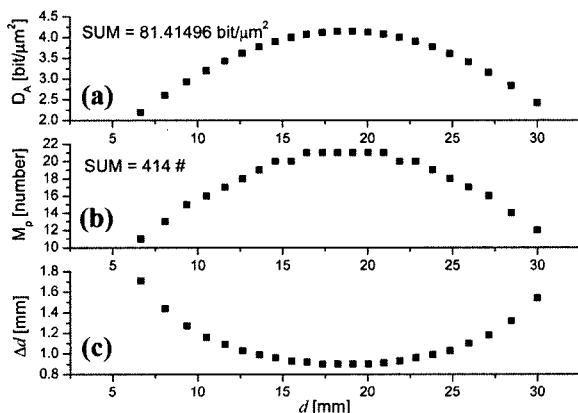


그림 15. HOE 간격 변화 d 에 따른 (a) D_A , (b) M_p , (c) Δd 의 계산 값.

- registration in volume holographic data storage”, *Optics Letters*, vol. 26, no. 8, 2001.
- [9] R. M. Shelby, D. A. Waldman and R. T. Ingwall, “Distortion in pixel-matched holographic data storage due to lateral dimensional change of photopolymer storage media”, *Optics Letters*, vol. 25, no. 10, 2000.
- [10] H. S. Li and D. Psaltis, “Alignment sensitivity of holographic three-dimensional disks”, *J. Opt. Soc. Am. A* vol. 12, no. 9, 1995.
- [11] 김성필, 송석호, 오차환, 김필수, 김지덕, 이홍석, “돔 유리를 이용한 위치이동 다중화 홀로그램 정보저장장치용 서보 컨트롤”, *한국광학회지*, vol. 15, no. 1, 2004.
- [12] 김성필, 송석호, 오차환, 김필수, 김지덕, 이홍석, “디스크 형 홀로그램 정보저장장치를 위한 광축상 서보 컨트롤”, *한국광학회지*, vol. 14, no. 1, 2003.
- [13] H. J. Eichler, P. Kuemmel, S. Orlie, and A. Wappelt, “High density disk storage by multiplexed microholograms”, *IEEE Journal of selected topics in Quantum Electronics*, vol. 4, no. 5, 1998.
- [14] S. Orlic, S. Ulm and H. J. Eichler, “3D bit-oriented optical storage in photopolymers”, *Journal of Optics A*, vol. 3, pp. 72-81, 2001.
- [15] H. Y. S. Li and D. Psaltis, “Three-dimensional holographic disks”, *Applied Optics*, vol. 33, no. 17, 1994.
- [16] K. Curtis, A. Pu, and D. Psaltis, “Method for holographic storage using peristrophic multiplexing”, *Optics letters*, vol. 19, no. 13, 1994.
- [17] J. Jang, D. Shin, and Y. Park, “Holographic data storage by combined use of peristrophic, angular, and spatial multiplexing”, *Optical Engineering*, vol. 39, no. 11, 2000.
- [18] U. S. Rhee, H. J. Caulfield, C. S. Vikram, and J. Shamir, “Dynamics of hologram recording in DuPont photopolymer”, *Applied Optics*, vol. 34, no. 5, 1995.
- [19] R. K. Kostuk, “Dynamic hologram recording characteristics in DuPont photopolymers”, *Applied Optics*, vol. 38, no. 8, 1999.
- [20] 최윤선, 윤병호, 김 남, “Photopolymer를 이용한 반사형 회절격자의 효율 및 동적특성 분석”, *한국광학회지*, vol. 9, no. 5, 1998.
- [21] A. Pu, K. Curtis and D. Psaltis, “Exposure schedule for multiplexing holograms in photopolmer films”, *Optical Engineering*, vol. 35, no. 10, 1996.
- [22] B. E. A. Saleh and M. C. Teich, “Fundamentals of photonics”, *Wiley-interscience*, pp. 86-87, pp. 94-95.

A Multiplexing Method using HOE's for Bit-Type Holographic Data Storages

Woo-jae Park, Sungphil Kim, Seok Ho Song[†], Cha-Hwan Oh and Pill-Soo Kim

Micro Optics Laboratory, Department of Physics, Hanyang University, Seoul 133-791, KOREA

[†]E-mail: shsong@hanyang.ac.kr

Jideog Kim

Samsung Advanced Institute of Technology, Suwon 440-600, KOREA

(Received August 8, 2004, Revised manuscript October 18, 2005)

The bit type holographic data storage is known to have many advantages in instrumentation for its compactness and simplicity, when compared to the 2-D page type holographic data storage. But it requires various multiplexing method for one bit hologram to achieve high storage densities. We propose an optical architecture for bit type holographic data storage which utilizes peristrophic and angular multiplexing simultaneously. Selectivity and characterization are analyzed for the proposed architecture. The possible number of multiplexing(72 bit holograms) and maximum storage densities calculation is confirmed experimentally.

OCIS Codes : 210.2860, 090.2890, 090.4220.