

각도 다중 기록 홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템

Angle Multiplexing Holographic data storage system

최종철[†], 정택성*, 정영민*, 박현수*

JongChul Choi[†], TaekSeong Jeong*, Youngmin Cheong* and Hyunsoo Park*

Abstract

Blu-ray disc 이후의 차세대 고밀도 광 기록 기술로 주목받는 홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템을 설계, 제작하고 기록 재생 test 를 수행하였다. 시스템은 각도 다중화법을 채택하였고, 파장 405nm, NA 0.55 신호광 Fourier 변환 렌즈로 미디어에 defocus 하여 기록하였다. 1 page 용량은 raw bit 로 0.74Mbit 이고, SLM 과 CCD 의 over-sampling 비율은 1:1.5 가 되도록 구성하였다. 얻어진 raw 이미지는 위치 및 distortion 보상등의 신호처리 후, 70page 다중화 조건에서 bER 1x10⁻² 수준으로 재생해 낼 수 있었다. 온도 변화에 의한 신호 열화를 보상하기 위해 External Cavity Tunable Blue LD 를 개발하여 온도 변화 10℃까지 보상 가능함을 확인하였다.

Key Words : 홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템, 각도 다중화, External Cavity Tunable Blue LD.

1. 서론

Blu-ray disc 이후의 차세대 광 기록 기술로는 Super-RENS, NFR, BD Multilayer, Two-photon memory, 홀로그래픽 데이터 스토리지 기술들이 언급되고 있다. 특히 대용량화와 고속 데이터 전송 측면에서 유리한 홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템[1]은 최근 관련 부품기술의 발전으로 주목 받고 있다.

홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템의 Page 기록 재생 방법으로 Collinear shift 다중화 방법과 각도 다중화 방법이 제시되고 있다.

Collinear shift 다중화 방법의 경우 시스템 구성은 간단하나 Scattering noise 에 취약하고 M# 소모가 큰 단점이 있어 고밀도 기록에 어려움이 있다. 반면 각도 다중화 방법의 경우 시스템 구조가 복잡한 단점이 있으나, Noise 영향이 적고 미디어 M# 소모가 적어 고밀도 기록에 유리하다.

본 논문에서는 각도 다중 기록이 가능한 시스템을 구성하고 기록재생 특성 및 마진특성을 평

가하였다.

2. 시스템 Layout

전체 시스템 layout 은 그림 1 에 나타내었다.

시스템은 4F Fourier 방식으로 구성하였고 각도 다중화 방법[2]으로 다중기록 되도록 구성하였으며, 재생 시 렌즈 수차에 의한 영향을 줄이기 위해 conjugate 방식으로 기록 재생하는 구조가 되도록 하였다. 기록 시간 및 재생 시간을 조절하기 위해 mechanical 로 구동되는 shutter 를 사용하였다. 2 차원 데이터를 형성하는 SLM(Spatial Light Modulator)

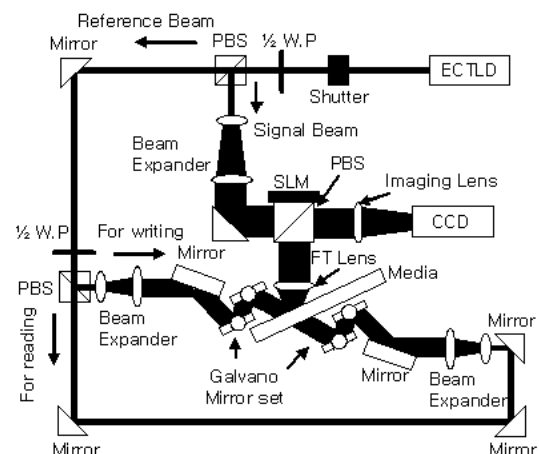


Fig. 1 시스템 layout

[†] Tera Storage Lab.
Digital Media R&D center Samsung Electronics
E-mail : jc0001.choi@samsung.com

* Tera Storage Lab.
Digital Media R&D center Samsung Electronics
논문접수일 (2007년 1월 15일)

은 13.2um pixel pitch 의 Displaytech 사 액정 type 을 사용하였고, detector 로는 4.4um pixel pitch 의 UNIQ 사 CCD 를 사용하였다.

Fourier 변환 렌즈는 NA 0.55, 결상 렌즈는 SLM 과 CCD 의 over-sampling 비율과 pixel 크기를 고려하여 배율 0.5 인 렌즈를 자체 설계 제작하여 사용하였다.

광원으로는 파장이 가변되는 Blue 광원을 개발하여 사용하였다. Volume 홀로그램 방식의 경우 미디어 온도변화 대응 범위가 극히 좁아, 이를 보정하기 위해 Blue LD 를 사용 External Cavity 를 구성하는 Tunable LD(ECTLD)가 제시되고 있고 이를 설계 제작하여 적용 하였다. ECTLD 의 경우는 external cavity 구성 방식과 LD chip 의 facet coating, 방열 구조에 의해 성능 및 구조가 바뀔 수 있다.

ECTLD 는 구성에 따라 Littman type 과 Littrow type[5]으로 구분된다. Littrow type 은 반사형 구조로 출력이 높은 반면 파장 가변시 출력광의 각도가 변하는 단점이 있다. Littman type 은 Littrow type 에 비해 출력이 낮고, LD chip facet 의 일면에 아주 높은 수준의 AR coating 이 요구되나, 파장 가변시 출력광의 각도가 변화하지 않는 장점이 있다. 본 시스템에서는 출력광의 각도가 일정하여 시스템 구성에 유리하도록 Littrow type 을 변형하여 Littman type 같이 출력광의 방향 변화가 없도록 구성하였고 LD chip facet 의 coating 을 최적화하여 손실을 줄이고 출력을 높였다.

그림. 2 에 변형된 Littrow type 의 구조를 나타내었다. 신호광의 집광에 의한 이미지 열화를 방지하기 위한 방법으로는 phase mask 혹은 axicon 을 사용하거나, 미디어를 defocus 하여 사용하는 방법이 있다. 본 시스템에서는 구성을 단순화하기 위해 미디어를 defocus 하여 사용하였다.

기록용 참조광과 재생용 참조광 모두 각도 조절 수단으로 Nutfield 사 Galvano mirror 를 사용하여 각도 다중 기록 및 재생이 가능하도록 하였다.

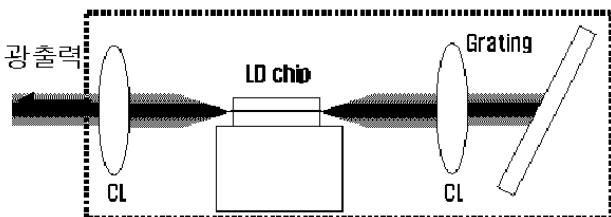


Fig.2 변형된 Littrow type 의 구조

3. 실험 결과

3.1 ECTLD

제작된 ECTLD 는 그림.3 에 나타내었다.

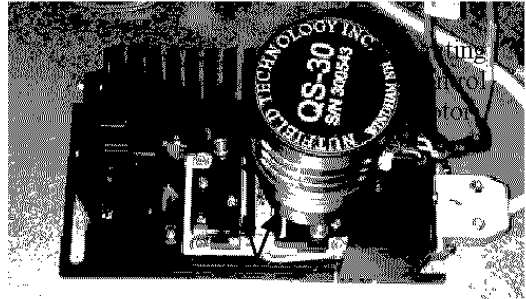


Fig.3 제작된 ECTLD

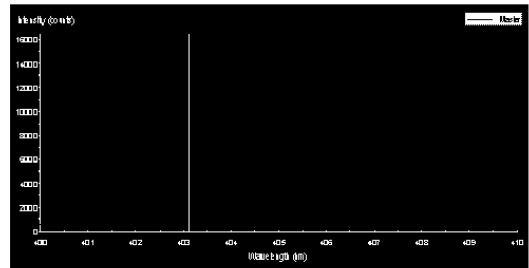


Fig.4 가변된 최소 파장(403.12nm)

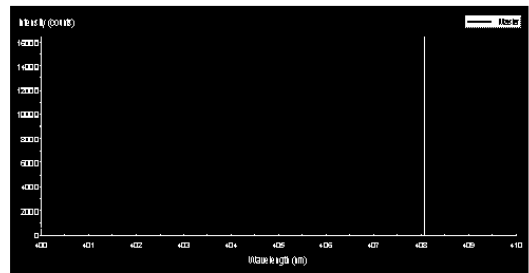


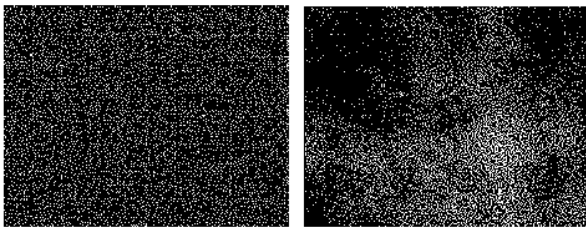
Fig.5 가변된 최대 파장(408.08nm)

측정된 파장 가변 최소 파장과 최대 파장은 각각 그림. 4 와 그림. 5 에 나타내었다. 그림과 같이 가변 가능한 파장 범위는 403.12nm 에서 408.08nm 이고 최대 광 power 는 48mW 이다. 선 폭은 0.1nm 이하로 측정되었다.

3.2 1 page 기록 재생

제작된 시스템을 이용하여 1 page 를 기록한 결과를 그림.6 에 나타내었다.

1page 용량은 raw bit 로 0.74Mbit 이다. 기록 에너지는 5mJ/cm² 으로 하였고 이 재생 이미지의 bER 은 0.007 이다.



(a) 원본 이미지 (b) 재생 이미지
Fig. 6 기록 재생된 이미지

이 bER 은 기준 마크를 중심으로 이미지의 회전, 이동, 기울어짐을 보상하고 왜곡을 보상하는 방법으로 신호처리를 한 후 측정된 결과이다.

이렇게 재생된 이미지를 각도를 scan 하는 방향과 scan 방향의 수직 방향(tilt)으로 각도 mismatch에 의한 신호 열화를 확인하였다.

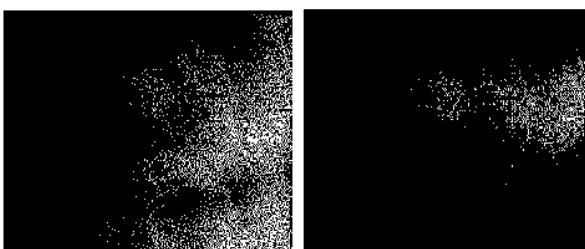
물론 양 방향 모두 selectivity 에 의해 회절광의 감소가 일어나고 이로 인해 이미지 quality 가 떨어질 것을 예상할 수 있으며 scan 방향의 경우 0.015 도 mismatching 되면 bER 이 2 배 정도 나빠지게 되고 tilt 방향의 경우는 0.025 도 mismatching 될 때 2 배 이상 나빠짐을 알 수 있었다. 이들을 그림. 7에 각각 나타내었다.

이와 같이 이미지 재생을 위한 재생 공차는 매우 tight 함을 알 수 있다.

3.3 Page 다중 기록

각도 다중화 방법을 이용하여 다중 기록을 실시하기 위해 selectivity 를 측정하였다. 사용된 미디어의 photopolymer 두께가 1.5mm 이므로 계산에 의한 selectivity 는 대략 0.03 도로 계산되었고 측정 결과는 그림. 8에 나타내었다. 계산된 결과와 유사하게 측정되었음을 알 수 있다.

측정된 selectivity 를 중심으로 page 다중 기록은 cross-talk 이 없는 간격으로 70page 를 기록하고



(a) scan 방향 (b) tilt 방향
Fig. 7 scan 방향과 tilt 방향 mismatching

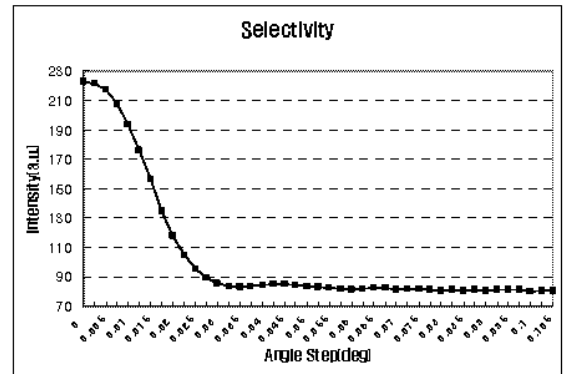


Fig.8 55 도 기록 시 측정된 selectivity

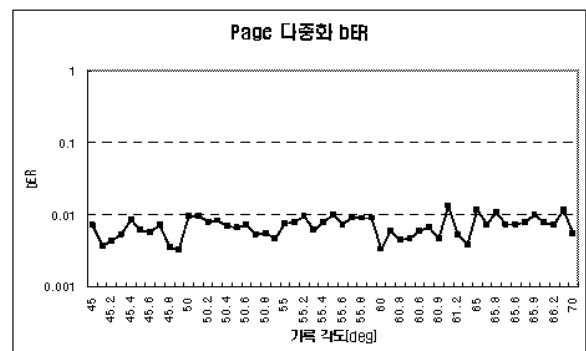


Fig.9 다중 기록 재생 bER

재생하였다. 각 page 는 1 page 기록 시 조건과 동일하게 하였다. 기록 후 재생한 각 page 의 bER 은 그림. 9에 나타내었다.

3.4 Book 기록 간격 설정

Book 다중화를 위해 인접 book 기록 위치를 설정하였다. 이를 위해 polytopic 다중 기록 구조를 구성하고 polytopic aperture 크기와 book 기록 간격에 따른 신호 열화를 확인하였다. Polytopic aperture 의 크기는 nyquist aperture 크기의 1.1 배 이하로 작아질 경우 신호 열화가 급격히 발생함을 알 수 있었다. 그래서 polytopic aperture 의 크기는 nyquist aperture 크기의 1.1 배 인 560um 을 설정하였고, 이 aperture 크기를 사용할 경우 book 기록 간격에 따른 신호 열화는 그림. 10에 나타내었다.

이 test 는 book 간격에 따른 cross talk 만을 확인하기 위해 각 book 에 1 page 만을 기록하여 test 하였다.

3.5 온도 보상 test

미디어의 온도변화가 발생하면 미디어는 그 부피와 굴절률이 변화한다.

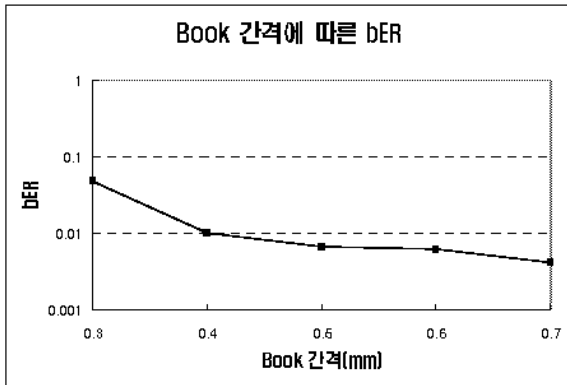


Fig.10 Book 간격에 따른 신호 열화

이 변화는 기록된 **grating** 의 각도와 간격을 변화시키고 기록된 **grating** 에 따라 각도와 간격 변화가 다르게 발생한다. 예를 들어 **grating** 의 각도가 미디어에 수직이면 변화가 미미하지만 각도가 미디어 수직에서 벗어나면 민감하게 변화한다. 그러므로 미디어 주변의 온도가 변화하여 미디어 내 온도가 변화한다면 신호 열화를 초래하므로 이를 보상하여 안정적인 신호를 얻어야 한다. 이와 같은 온도 변화에 따른 미디어 변화는 시스템 신뢰성과 관계가 되므로 중요한 고려 사항이다. Blu-ray disc 의 경우 환경 온도 사양이 $25^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 로 되어 있는 것을 고려할 때 홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템의 경우도 이와 같은 온도 사양을 만족해야 할 것으로 보인다.

온도 변화에 의한 미디어의 변형과 굴절률 변화는 표.1 과 같다. [6]

이와 같이 기록된 **grating** 의 각도 변화와 간격 변화는 재생 각도를 변화시키고 파장을 바꾸어 보상할 수 있으므로 제작된 ECTLD 와 각도 조절을 통해 보상 가능한 온도 범위를 측정하였다.

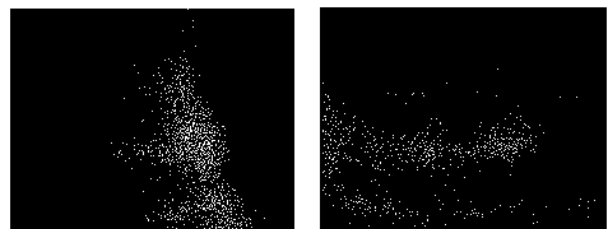
먼저, 미디어에 홀로그램을 기록하고 재생하여 신호 품질을 확인한다. 이 후 재생에 따른 신호 열화를 방지하기 위해 **fixing** 을 하여 잔여 **monomer** 를 모두 소진 시킨다. 이와 같이 **fixing** 한 후 **heater** 를 이용하여 미디어 주변 온도를 상승시키고 미디어 주변에 설치된 온도계를 통해 미디어 주변 온도를 측정하며 온도가 안정되었을 때 홀로그램을 재생하여 온도 변화에 의한 신호 변화를 확인한다. 이 때 홀로그램 재생은 일정 시간 간격으로 수행하여 신호 변화가 **saturation** 된 시점을 기준으로 하였다.

그림. 11 은 온도가 7.5°C 변화했을 경우 변형이미지와 이를 파장과 각도 변화로 보정한 이미지를 나타냈다.

이와 같은 신호 열화를 보상하기 위해 각도 및 파장의 파장을 변화하며 신호 변화를 측정하여 그림.12 과 같은 결과를 얻었다.

Table 1 온도에 따른 미디어 변화

항목	변화량
$\Delta\delta_x$	$5e-6/(\text{deg.C})$
$\Delta\delta_z$	$4.6e-4/(\text{deg.C})$
Δn	$-3.6e-4/(\text{deg.C})$



(a) 변형 이미지 (b) 보상 이미지
Fig.11 온도 변화에 따른 이미지 변화

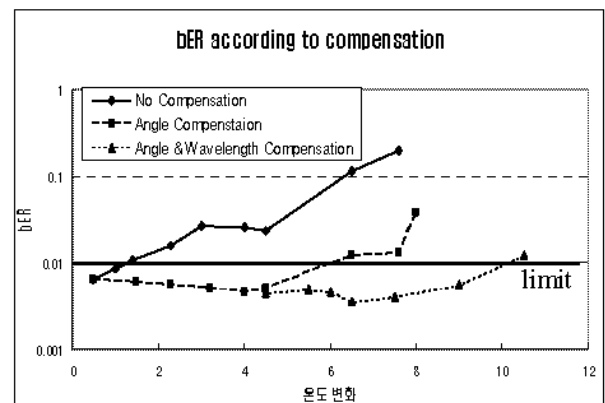


Fig. 12 온도 변화 보상에 따른 신호 변화

Table 2 온도 보상 범위

보상 적용 여부	온도 보상 범위
미적용	1.5°C
각도만 변경	6.0°C
파장, 각도 변경	10.0°C

온도 보상의 기준은 마진을 고려하여 **decoding** 이 가능한 **bER** 0.01 을 기준으로 하였다.

이를 표로 간단히 정리하면 표.2 와 같다.

표. 2 에서와 같이 보상을 하지 않을 경우 홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템은 1.5°C 온도 범위에서만 사용이 가능하다.

파장 및 각도를 이용하여 보상하여도 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 온도

범위에서 사용이 가능한 정도이므로 사용 온도 범위를 넓게 하는 연구가 필요하다.

4. 결론

홀로그래픽 데이터 스토리지를 위한 시스템을 구성하고 성능 평가를 수행하였다. Raw bit 로 0.74Mbit 인 페이지 데이터를 bER 0.01 수준으로 70page 다중 기록 재생이 가능하였고 기록 시 온도에서 10℃ 온도 변화에 대한 신호 열화를 파장 가변 광원과 각도 조절을 통해 보상해 낼 수 있었다.

이 후 page 가 다중 기록된 book 을 다중 기록 함으로써 고밀도 기록의 가능성을 검토할 예정이다.

참고문헌

- [1] H.J.Coufal, D.Psaltis and G.T. Sincerbox, 2000, Holographic Data Storage, Springer-Verlag
- [2] Ken Anderson, Edeline Fotheringham, Adrian Hill, Bradley Sissom, Kevin Curtis, 2005, "High speed holographic data storage at 100 Gbit/in²", ISOMODS2005
- [3] Frank Schuumans, Marcello Balistreri, Teus Tukker, Gert 't Hooft, Sjoerd Stallinga, 2005, "High-Numerical Aperture Holographic Data Storage", ISOMODS2005
- [4] Bernal, H. Coufal, R. K. Grygier, H. Gunther, R. M. Macfarlane, and G. T. Sincerbox, 1997 "Pixel-matched holographic data storage with megabit pages," Opt. Lett., Vol.22, pp.1509-1511.
- [5] T.Tanaka, K.Takahashi, K. Watanabe, D.Samuels, M.Takeya, 2004, "Littrow-type blue laser for holographic storage", Optical Data Storage Technical Digest, 31-313.
- [6] Mitsuru TOISHI, Tomiji Tanaka, Mikio Sugiki, Kenjiro Watanabe, 2005, "Temperature tolerance improvement with wavelength tuning laser source in holographic data storage", ISOMODS2005.