

근접장 광 기록 재생 시스템에서의 초해상 재생 현상 확인

Super Resolution Readout in Near Field Optical Data Storage System

이진경[†], 정안식*, 신종현*, 김주호*, 이경근*, 김중곤**, 박노철**, 박영필**

Jinkyung Lee, Ansik Jeong, Jonghyun Shin, Joocho Kim, Kyunggeun Lee,
Joonggon Kim, Nocheol Park and Youngpil Park

Abstract

Super-resolution near-field structure (super-RENS) technology and solid immersion lens (SIL) based near-field (NF) technology have been expected as promising approaches to increase data capacity or areal density of optical disc. Super-RENS technology has been studied until now using mainly numerical aperture (NA) of 0.85 far-field optical system and possibility of tangential data density increment have been presented. NF technology has been studied with NA over 1 and presented demonstration of removable performance. To achieve much higher density, approach to increase NA of super-RENS by NF technology (Near-Field Super-Resolution, NFSR) can be a candidate and we think this technology would be advantageous compared to wavelength reduction or much higher NA increment of NF technology or much smaller effective optical spot size reduction of far-field super-resolution technology. In this paper we present readout result of ROM media having monotone pits using NF optical system with wavelength of 405nm and NA of 1.84 surface type SIL. GeSbTe material was used for super resolution active layer and pit length is 37.5nm which is shorter than resolution limit 55nm. We present the feasibility of NFSR technology by confirming the CNR threshold according to readout power (Pr) and CNR 33dB over threshold Pr.

Key Words : Near Field Super Resolution, NFSR, 초해상, Super Resolution, Super-RENS, NFR, 근접장, Near Field, Solid Immersion Lens, SIL

1. 서론

초해상 응용 기술 중 하나인 super-resolution near-field structure (super-RENS) 기술과 근접장 응용 기술 중 하나인 Solid Immersion Lens (SIL) 을 적용한 near-field (NF) 기술은 광 기록 재생 기술로써 각각 저장 용량 또는 면 데이터 밀도를 높일 수 있는 유망한 기술로써 연구 되고 있다. Super-RENS 기술은 현재까지 NA 0.85 의 far-field (FF) 광학계에서 주로 연구되어 데이터의 선 밀도 증가 가능성이 bER 수치로써 확인 되었으며 [1], 최근 stability 특성의 향상도 보고 되었다.[2]

NF 기술은 cover layer 가 없는 surface recording 방식과 cover layer 가 있는 inside recording 방식 모두에서 NA 1 이상에서 기록 재생이 가능함이 확인 되었을 뿐만 아니라 실용적 구현 관점에서 미디어의 착탈이 가능함이 데모로써 보고 되었다[3]. 광 저장 장치의 면 데이터 밀도를 더욱 높일 수 있는 후보 기술로써, 전술한 NF 광학계에서 전술한 super-RENS 미디어의 기록 재생 기술을 고려 할 수 있는데, 이러한 이른바 근접장 초해상 (Near-Field Super-Resolution, NFSR) 기술은 Far-field super-RENS 로써 유효 광 스폿 크기의 추가적인 감소라든지, NF 기술로써 NA 의 추가적인 증가라든지, 또는 광 파장 저감 등의 단일 기술들에 비하여 데이터 밀도의 획기적인 증가가 가능할 것으로 생각된다.

본 논문에서는 NFSR 기술의 가능성을 파악하

[†] * Tera Storage lab, DM R&D Center,
Samsung Electronics Co., Ltd.
E-mail : iamleejk@samsung.com
TEL : (031)200-3370

** 연세대학교 정보저장기기연구센터

기 위하여 NF 광학계에서 super-RENS ROM media 의 재생 결과를 보고한다. 파장 405nm, surface recording type NA 1.84 SIL 을 적용한 근접장 광학계에서 회절한계 55nm 이하 길이의 피트를 갖는 monotone data pattern 의 CNR 수치를 평가한다. 초해상 활성층으로 GeSbTe 를 사용하여 미디어를 제작하고, 피트 길이 37.5nm 의 CNR 을 재생 광 파워에 따라 평가 함으로써 초해상 고유의 현상인 문턱 현상을 확인하고 문턱 파워 이상에서 CNR 을 확인 함으로써 NFSR 기술이 가능함을 보고 하고자 한다.[4]

2. 실험 방법

2.1 미디어와 광학계

미디어의 층 구조는 전술한 바와 같이 두께 15nm 의 GeSbTe 를 활성층으로 갖는 super-RENS 미디어를 그림 1.과 같은 구조로 제작하였다. GeSbTe 상하에 두께 50nm 의 ZnS-SiO₂ 유전체 층을 성막하였고 최상층에는 보호층으로써 SiN 60nm 를 성막하였으며 기판은 두께 1.1mm 의 polycarbonate 를 사용하였다. 이러한 미디어의 보호층을 제외한 층 구조에 대해서 FF 경우에는 회절한계 이하의 monotone data pattern 의 CNR 이 확인 되었다.[5][6]

피트 형상은 길이 37.5nm, 트랙피치 320nm 를 가지며 피트 폭은 트랙 피치의 약 1/2 이 되도록 넓게 고안하였다. 피트 폭이 넓은 경우 CNR 특성이 향상되는 결과가 보고 되었다.[6] 그림 2 에 electron beam mastering, injection molding 과정으로 제작된 polycarbonate 기판의 AFM 이미지를 나타내었다.

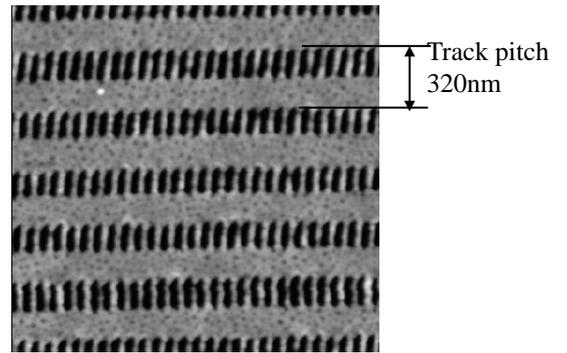
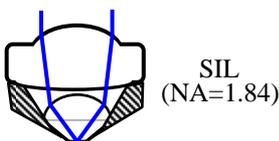


Fig. 2 AFM image of substrate



SiN	60nm
ZnS-SiO ₂	50nm
GST	15nm
ZnS-SiO ₂	50nm
PC substrate	1.1mm

Fig. 1 Media structure and SIL

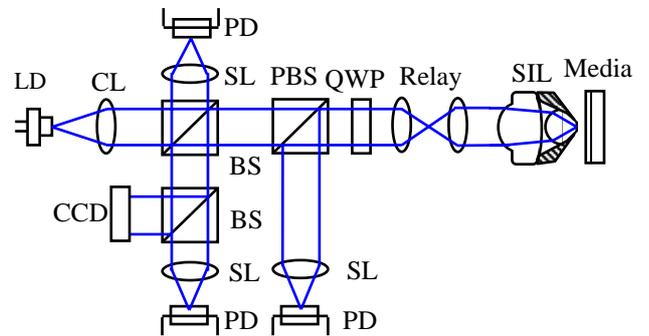


Fig. 3 Optical layout

SIL 은 NA 1.84 super-hemisphere, surface recording type 을 사용하였다. 비구면렌즈의 NA 는 약 0.77 이고 볼렌즈는 굴절률 약 2.07 의 S-LAH79 재료로 제작 되었다. SIL 을 포함한 전체의 광학계 구성을 그림 3.에 나타내었다. 405nm 의 원편광 광을 미디어에 집광하였으며 반사된 광을 편광 분리하여 각각 air gap 제어용 gap error signal (GES) 과 RF/track error signal (TES) 로 사용하는 광학계를 구성하였다. Focus 를 조정하기 위한 relay, align 및 오염 상태를 monitor 하기 위한 CCD 를 추가하였다. TES 로 push-pull 신호를 이용하였다.

2.2 서보

포커스 서보 및 트랙 서보를 위하여 일반적인 2 축 액추에이터를 설계, 제작 적용하였고 fc 8kHz, phase margin 25.8도의 high bandwidth controller 를 적용하였다. Spindle 에 장착한 상태의 미디어의 axial runout 은 광 스폿 위치에서 약 15~30µm 정도로 측정되었다. 볼렌즈의 tip size 와 목표 air gap 으로부터 위의 axial runout 은 충돌이 일어나지 않는 충분한 마진을

가지며 수십~수백 μm 의 axial runout 에 대응하기 위하여는 별도로 보고된 AC tilt 적용이 필요하다. 디스크 회전 속도는 800RPM 이고 선속도는 약 2.2 m/s 이다.

그림 4 와 같이 목표로 하는 air gap, 즉 미디어와 SIL 간의 거리로의 focus pull-in 은 다음과 같이 하였다. 먼저 FF 전위(SIL 과 미디어간의 거리가 충분히 먼 경우), 접촉(SIL 과 미디어가 물리적 접촉을 한 경우) 시의 전위, 목표 focus servo pull-in 전위를 설정한 후 검출되는 GES 의 FF 전압값 및 접촉시의 전압값을 설정값에 일치 하도록 gain 과 offset 을 조정하였다. Air gap 은 약 25nm 가 되도록 목표 전위들을 결정하였는데, 이것은 FF 전위를 1, 접촉시의 전위를 0 으로 하였을 때 약 0.525 에 해당한다. Air gap 을 평가하기 위하여 잘 알려진 RF 신호의 fluctuation 을 이용하였다. 즉, 미디어와 SIL 간의 상대적인 tilt 가 거의 없도록 align 한 후, 액츄에이터를 구동하여 SIL 을 미디어에 선형 운동으로 근접 시키면서 GES 와 RF sum 을 동시에 관찰하였다. 이때 RF sum 은 SIL 바닥면에서 반사된 광과 미디어에서 반사된 광이 air gap 의 반파장을 주기로 상쇄 보강 간섭을 일으킴으로써 fluctuation 을 갖게 된다. 그림 4.에 이것을 관찰 할 수 있으며 따라서 이를 이용하여 25nm 에 해당하는 GES 전위를 확인 할 수 있다. RF sum 과 GES 의 크기와 offset 은 곡선이 잘 보이도록 하기 위하여 조정하였다.

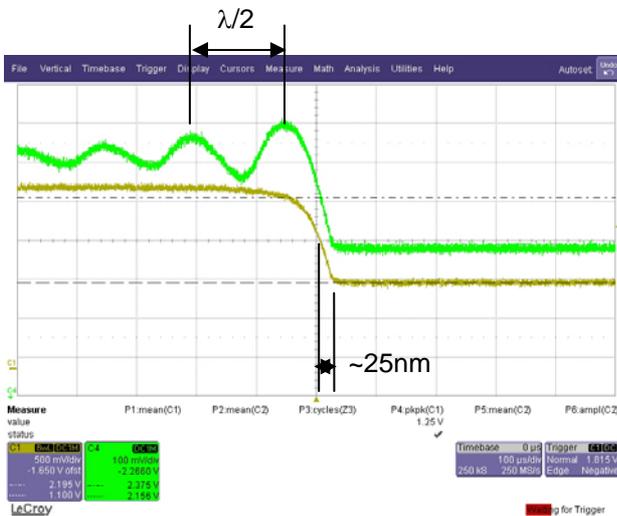


Fig. 4 Gap error and RF sum signal vs Air gap

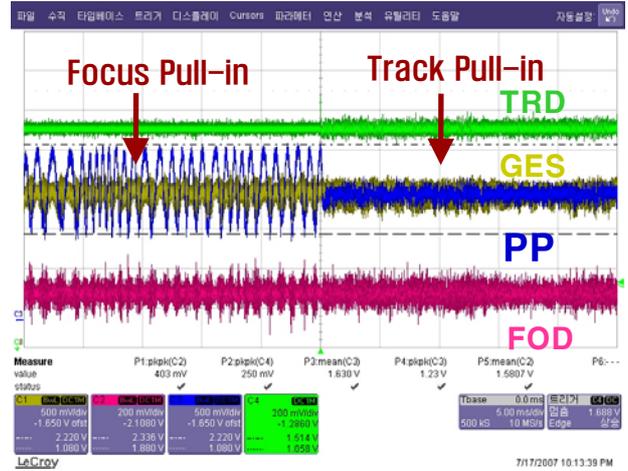


Fig. 5 Focus, Track pull-in

Pr 변화에 따른 GES 의 변동을 확인하기 위하여 전술한 방법과 같은 방법으로 SIL 을 미디어에 접근시켜 낮은 Pr 과 높은 Pr 에 대하여 GES 를 측정 비교하였다. 측정 결과 목표로 하는 air gap 에 해당하는 focus pull-in 전압값은 Pr 변화에 크게 영향 받지 않으며 즉, GES 는 Pr 에 크게 영향 받지 않았다. FF 전위를 1, 접촉시의 전위를 0 으로 하였을 때 고정된 focus pull-in level 에 대한 Pr 에 따른 air gap 변동은 수 nm 이내였으며 이 값은 서보 gain 마진 범위 내에 있어 제어 신호 측면에서 그리고 재생 신호 특성 측면에서 큰 영향이 없음을 확인하였다.

그림 5 에 focus pull-in, track pull-in 동작 신호를 나타내었다. Focus pull-in 이 이루어져 있는 상태에서 PP 신호를 관찰 할 수 있으며 track pull-in 이 동작하는 것을 관찰 할 수 있다. FOD 와 TRD 는 각각 액츄에이터의 focus, track driving 신호이다.

3. 결과 및 논의

Pr 에 따른 CNR 을 그림 6 에 나타내었다. Pr 증가에 따라 CNR 의 증가가 문턱 현상을 보이는 것을 볼 수 있다. 약 0.95mW 의 문턱 Pr 이전에는 CNR 이 거의 0 에 가까우나 문턱 Pr 이후에 CNR 은 급격히 증가하여 최고치 약 33dB 를 나타낸다. 광학적으로 파장과 NA 로부터 결정되는

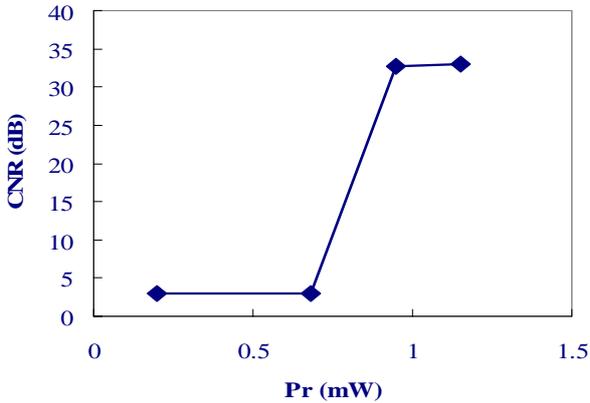


Fig. 6 CNR vs Pr

회절한계 피트 길이인 405nm/1.84/4~55nm 보다 충분히 작은 피트 길이 37.5nm 에 대하여 분명한 문턱 현상을 확인 할 수 있다. 이것은 NF 광학계에서도 초해상 현상이 가능하고 실제로 초해상 현상을 통하여 회절한계 이하의 피트가 재생되고 있음을 나타내는 것으로, NFSR 기술이 가능함을 보여주고 있다. Super-RENS 기술은 미디어 내부에 초해상 활성층을 갖게 하여 높은 광 파워가 이 활성층에 집광될 때 높은 온도가 유발 되고 따라서 온도에 따라 재료의 광학적 특성이 광 스폿 크기에 상응하는 국부적인 영역에서 변하게 됨으로써 광 스폿의 유효 크기가 줄어들게 되는 현상으로 이해할 수 있는데, 이러한 현상의 과정에서 활성층 근방에 근접장 효과가 존재할 것으로 생각된다. 또한 NF 기술은 파장보다 작은 SIL 과 미디어 간의 air gap 에 evanescent 파가 존재하고 이를 이용하여 기록 재생을 행하는 기술로서 근접장이 존재한다. NFSR 기술은 이러한 각각의 기술이 갖는 근접장 현상이 동시에 존재할 것으로 생각되는데, 이러한 경우에 어떠한 물리적 해석이 가능하며 신호 품질에 긍정적 또는 부정적인 영향을 갖을 수 있는 어떠한 현상이 발생하는가에 대한 분석이 필요하다. 만일 evanescent 파는 air gap 영역에서만 존재하고, 미디어 내부로 전파된 후에 전자기파는 진행파로써 존재한다면, 미디어 내부에서 발생하는 전술한 초해상 현상은 evanescent 파와는 별개로 해석될 수 있는 여지가 있다. 이 경우 각각의 근접장은 영향을 미치지 않는다는 해석도 가능 할 것이다. 이상과 같은 해석들에 대한 연구가 현재 진행 중이며 이의 이해를 통해 NFSR 기술 및 신호 특성의 추가적인 개선이 향후 가능할 것으로 생각된다. 그림 7 은 문턱 Pr 이후의 최대 CNR 33dB 의 주파

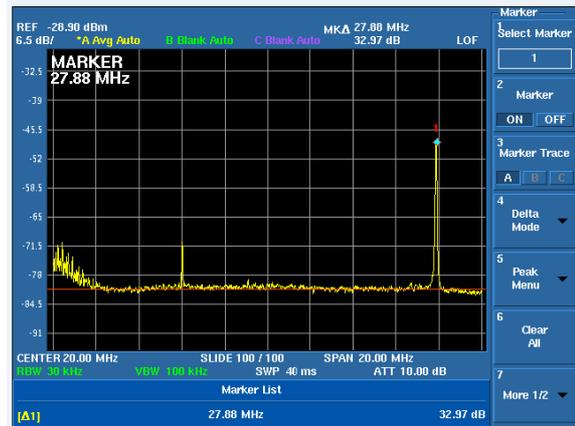


Fig. 7 CNR 33dB obtained above threshold Pr

수상의 스펙트럼을 나타내었다.

Pr 의 측정은 다음과 같이 하였다. 미디어가 없는 상태에서 SIL 을 통과하고 나오는 광량만을 광 파워미터로 측정하였다. 전술한 문턱 Pr 0.95mW 및 그림 6 의 측정값들 모두 이렇게 측정된 값이다. SIL 과 공기층의 경계에서 전반사 임계각 보다 큰 각도로 입사하는 광선은 전반사에 의해 광 파워미터에 도달하지 못하고 전반사 임계각 보다 작은 각도로 입사하는 광선의 광량이 측정된다. 계산 결과 약 32%의 광이 광 파워미터에 도달하는 것이므로 볼 렌즈 내부에서의 문턱 광 파워는 약 2.97mW 에 해당한다고 해석된다. Air gap 이 25nm 로 제어될 때 미디어 표면에 도달하는 광량은 미디어의 특성에 의존하는데, 계산 결과 입사광 즉, 볼 렌즈 내부에서의 광량의 약 80%가 미디어에 도달하는 것이므로 미디어 표면에서의 문턱 광 파

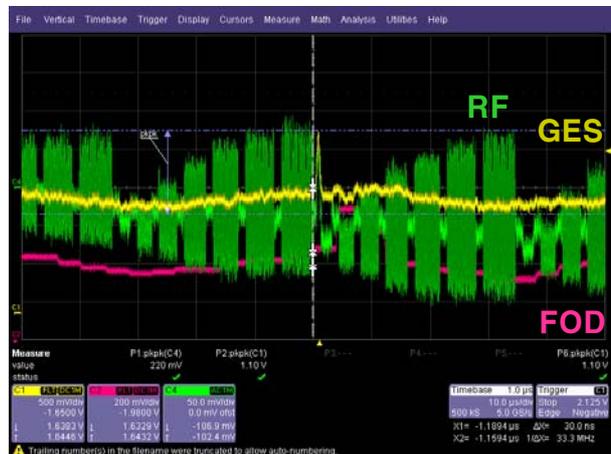


Fig. 8 Readout signal of patterned data

위는 약 2.38mW 에 해당한다고 해석된다.

그림 8 에 패턴 data 의 재생 신호를 나타내었다. 패턴 data 의 구성은 -2T-3T-2T-4T-2T-5T-2T-6T-2T-7T-2T-8T-2T-9T-2T 의 반복으로 되어 있다. 이때 T 는 18.75nm 이고 최소 피트 길이 2T 는 37.5nm, 3T 는 56.25nm, 최장 피트 길이 9T 는 168.75nm 에 각각 해당한다. 2T 길이는 회절한계 보다 충분히 작은 길이이고 3T 는 회절한계 근방의 길이이다. 그림 7 에서 최대 CNR 33dB 를 확인 하였으나 그림 8 에서 2T 신호가 분명히 나타나고 있지는 않으며 asymmetry 는 피트 부피와 관계가 있다.

4. 결론

이상의 실험을 통하여 Near-Field Super-Resolution (NFSR) 기술 즉, 근접장 광학계에서 초해상 현상을 이용한 미디어의 재생 기술의 가능성을 확인하였다. 회절한계 피트 길이 55nm 보다 충분히 작은 피트 길이 37.5nm 에 대하여 재생 광 파워에 따른 CNR 의 문턱 현상을 관찰할 수 있었고 문턱 광 파워 이상에서 CNR 33dB 를 관찰 하였다. FF 광학계에서의 초해상 현상에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있지만 NF 광학계에서의 초해상 현상에 대한 연구도 필요하며 향후 이에 대한 이해를 바탕으로 미디어의 층 구조 개선 및 NFSR 현상을 이용한 기술 및 신호 개선이 있을 것으로 기대된다. 피트 길이 37.5nm 는 트랙피치를 160nm 로 하는 경우 용량 약 200GB 에 해당하고 전술한 기술 개발을 통하여 면 용량의 추가적인 증가가 가능할 것으로 기대된다.

후 기

Authors are thankful to SONY Corporation for providing us with SIL and thankful to OBDUCAT for developing ROM stamper.

참고문헌

- [1] Jooho Kim, Inoh Hwang, Jaecheol Bae, Jinkyung Lee, Hyunsoo Park et al., 2006, "Bit Error Rate characteristics of Write Once Read Many Super-Resolution Near Field Structure Disk", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.45, No.2B, pp.1370-1373
- [2] Jooho Kim, Jaecheol Bae, Inoh Hwang, Chongsam Chung, Insik Park et al. 2007, "Stability Enhancement of Super-RENS High Temperature Readout Signal", ODS, TuC4.
- [3] Tsutomu Ishimoto, Takeshi Matsui, Sunmin Kim, Kimihiro Saito, Katsuji Takagi et al., 2006, "Technologies for Removability in a Near-Field Optical Disc System", ODS, MC1 (invited).
- [4] Jinkyung Lee, Ansik Jeong, Jonghyun Shin, Myongdo Ro, Jooho Kim et al., 2007, "Super-Resolution Readout in Near-Field Optical System", ISOM, Tu-G-05.
- [5] Hyunki KIM, Inoh HWANG, Jooho KIM, Changmin PARK, Myongdo RO et al., 2005, "Phase Change Super Resolution near Field Structure ROM", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.44, No.5B, pp.3605-3608.
- [6] Hyunki KIM, Jooho KIM, Changmin PARK, Moonil JUNG, Myongdo RO et al., 2006, "Random Signal Characteristics of Super Resolution Near Field Structure Read-Only Memory Disc", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.45, No.2B, pp.1374-1378.