

광 정보 저장 기기용 초소형 광픽업 설계

이상혁*(연세대학교 정보저장공학과), 정미숙(삼성종합기술원),
손진승(연세대학교 정보저장공학과), 송태선(연세대학교 정보저장공학과),
박노철(연세대학교 정보저장공학과), 박영필(연세대학교 기계공학부)

Design of Slim Optical Pickup for Blu-ray Disk

S. H. Lee (CISD. YSU), M. S. Jung (SAIT), J. S. Sohn (CISD. YSU), T. S. Song (CISD. YSU),
N. C. Park (CISD. YSU), Y. P. Park (Mecha. Eng. Dept. YSU)

ABSTRACT

Recent issues in Optical Disk Drive (ODD) are focused on small size. Blu-ray Disk (BD), using blue laser (405nm wavelength) and high NA (0.85) objective lens, can store 25Gbyte on a conventional 12cm optical disk. Small Form Factor Optical (SFFO) drive uses 3cm disk which can store 1.5Gbyte on a disk. This kind of Small Form Factor Optical (SFFO) drive correspond to PCMCIA type memory (Compact Flash or Micro Drive). Preferably, Optical Disk has relatively low cost of the storage media per Byte rather than PCMCIA type memory. To make Small Form Factor Optical (SFFO) drive, optical pickup and its component must be miniaturized. Miniaturization of the component needs new concept of Optical Pickup. This paper is focused on two main subjects. One is Objective Lens design which can be manufactured on a wafer, and the other is optical path design of the pickup which has 2mm thickness.

Key Words : Optical Disk Drive(광정보저장기기), Optical Pickup(광픽업), Small Form Factor Optical drive(초소형 광저장장치), Blu-Ray Disk

1. 서론

광 정보 저장 기기의 소형화

CD, DVD 와 같은 광 정보 저장 기기에서 이루어져온 기록밀도향상으로 차세대 DVD (Blu-ray Disk)에서는 기존의 12cm Disk 에 25Gbyte 이상을 저장하기에 이르렀다. Blu-ray Disk 에서는 파장 405nm 의 LD(Laser Diode)를 사용하고 0.85 의 고 NA(Numerical Aperture) 대물렌즈를 사용해 기록 밀도를 높였다. 이러한 고밀도기록이 가능해 지면서 휴대용 기기에 적용 가능한 광 저장장치의 개발도 이슈가 되고 있다. 최근에 플래시 메모리나 IBM 사의 마이크로 드라이브등이 휴대용 저장매체로 인기를 끌고 있지만 용량에 비해 가격이 매우 비싸다. 초소형 광저장장치에 사용되는 3cm 디스크는 1.5Gbyte 를 기록 할 수 있으므로 기존의 휴대용 저장장치에 비해 가격이 저렴하며 대량 배포가 가능한 저장매체가 될 수 있다.

본 논문에서는 초소형 광저장장치에 적용 가능한 대물렌즈와 두께 2mm 의 광픽업을 설계하고 제작 가능성을 검토하였다. 상용화된 CODE V 를 통해 렌즈 및 광학계를 설계하였다.

2. Blu-ray Disk 용 초소형 대물렌즈 설계

2.1 대물렌즈의 설계

Blu ray Disk 에서는 405nm 의 단파장을 사용하지만 LD 의 파장이 일정하지 않고 400nm 에서 415nm 까지 변화하기 때문에 렌즈설계 과정에서 대물렌즈의 색수차를 없애는 것이 가장 중요하다. LD 의 파장변화에 의한 디포커스(defocus) 양을 픽업 액츄에이터(actuator) 가 추종하지 못하기 때문에 광학적으로 디포커스 양을 줄여주는 것이다. 이러한 색수차는 회절소자(Diffractive Optical Element)를 사용하여 줄일 수 있다. 회절소자는 굴절 렌즈와

반대 부호의 아베수(음의 아베수)를 갖기 때문에 굴절 렌즈와 조합하여 색수차가 적은 렌즈를 만들 수 있다.

$$\frac{1}{f_{ref} \nu_{ref}} + \frac{1}{f_{doe} \nu_{doe}} = 0$$

f_{ref} : focal length of refractive lens
 ν_{ref} : abbe number of refractive lens
 f_{doe} : focal length of diffractive lens
 ν_{doe} : abbe number of diffractive lens

회절 소자는 대물렌즈 전체의 성능을 위해 회절 효율이 90%이상 되어야 하고, 제작을 위해서 회절 소자의 최소 피치가 $4 \mu\text{m}$ 이상이 되어야 한다. 최소 피치 사이즈가 파장(405 nm)의 10 배($4 \mu\text{m}$) 이하가 되면 효율이 급격히 떨어지고 제작 또한 불가능해 지기 때문이다. 회절효율은 스칼라 회절 이론 (scalar diffraction theory)을 사용해 계산되는데 상용 프로그램인 CODE V에서 사용하는 이 이론도 여러 가지 가정때문에 파장의 10 배 이하에서는 오차가 커지게 된다. 이러한 제작과 효율, 계산상의 제약을 고려하여 홀로그래를 설계하였다. 현재 청색 LD 는 파장이 400 nm 에서 415 nm 까지 변한다. 파장이 1 nm 변할 때 디포커스가 90 nm 이하가 되도록 하고 모든 파장에 대하여 RMS 파면수차 (RMS Wavefront Error)가 $0.01 \lambda \text{ RMS}$ 이하가 되도록 설계 하였다.

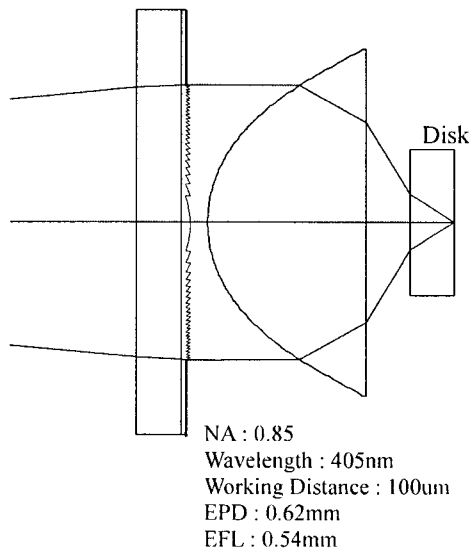


Fig. 1 Objective Lens

렌즈의 성능과 함께 가장 중요한 것은 충분한 디센터와 턴트 공차를 갖는 렌즈를 설계하는 것이다. 초소형 광픽업은 웨이퍼 공정으로 제작 되기

때문에 조립과 조정과정의 공차보다 충분히 큰 공차를 갖는 렌즈를 설계하여 광학적인 조정이 필요 없는 픽업을 만들 수 있도록 하는 것이다.

렌즈의 제작을 위해서 고려해야 할 다른 사항으로는 옛지두께, 빔의 입사각, 비구면 계수, 홀로그래(Kinoform)의 계수 등이 있다. 옛지 두께는 제작시의 홀딩부로서 $150 \mu\text{m}$ 이상 되어야 하고 빔의 입사각은 몰딩용 금형 제작을 위해 60° 이하가 되어야 한다. 비구면 계수는 14 차 이하로, 홀로그래의 계수는 20 차 이하로 제작이 가능한데 평가를 위해서는 홀로그래의 계수가 12 차 이하가 되어야 한다.

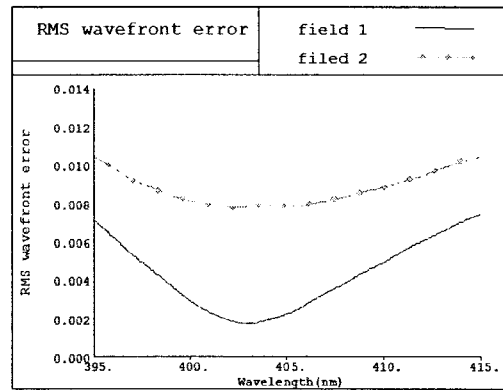


Fig. 2 RMS Wavefront Error versus Wavelength (field 1-on optical axis, field 2- LD object size = $2 \mu\text{m}$)

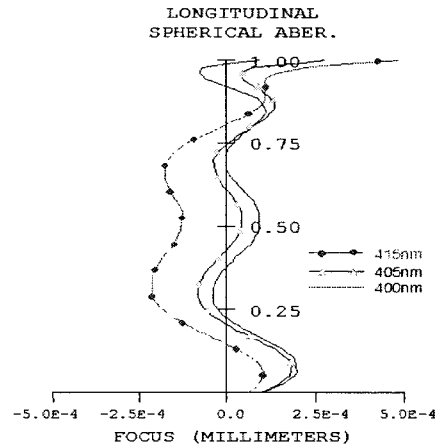


Fig. 3 Spherical aberration

Fig. 3 에 나타나 있는 구면수차는 파장변화에 따른 이미지면에서의, 즉 디스크 상에서의 초점이 벗어난 정도이다. 홀로그래가 없으면 파장이 1 nm 변할 때 초점이 200 nm 이상 벗어나서 포커싱 시보를 하기가 힘들다. 홀로그래를 사용하여 초점이 벗어난 정도를 90 nm 이하가 되도록 하였다.

2.2 공차 분석

2.2.1 발생 가능한 공차

마살 중속조건에 의하면 광픽업은 파면수차가 0.07λ RMS 이하 일 때 좋은 성능을 보여준다. 대물렌즈의 파면수차는 0.01λ RMS 이하이지만 실제로 제작과 조립, 조정 과정에서 발생하는 모든 공차를 고려하여 전체 광학계가 0.07λ RMS 이하의 수차를 가지도록 설계하여야 한다.

2.2.2 Monte carlo 시뮬레이션

제작과정에서 발생할 수 있는 모든 공차를 고려한 Monte carlo 시뮬레이션에서 확률적으로 90%이상의 렌즈가 0.07λ RMS 이하의 파면수차를 갖도록 공차설계를 하였다. 각 렌즈 면의 디센터와 틸트, 굴절률과 아베수, 두께와 곡률 변화를 공차항목으로 설정하고 실제로 광디스크의 기록, 재생과정에서 발생할 수 있는 디스크의 틸트와 두께 편차도 고려하여 시뮬레이션 하였다. 실제 픽업조립과정에서 발생하는 조정공차는 $2\mu\text{m}$ 이내 이지만 렌즈의 제작과정에서 발생할 수 있는 광축 어긋남을 고려하여 렌즈의 디센터 공차를 $10\mu\text{m}$ 으로 하여 시뮬레이션 하였다.

Table 1 Simulated tolerances

항목	시뮬레이션 공차량
렌즈의 두께	$5\mu\text{m}$
렌즈의 굴절률	0.001
렌즈 아베수	0.1
렌즈 곡률	$1\mu\text{m}$
각면의 디센터	$10\mu\text{m}$
각면의 틸트	2 min (0.035 deg)
렌즈의 group 디센터	$10\mu\text{m}$
렌즈의 group 틸트	6.7 min (0.115 deg)
디스크의 두께	$2\mu\text{m}$
디스크의 틸트	6.7 min (0.115 deg)

Fig. 4의 결과에서 보듯이 위에 언급한 모든 공차를 고려했을 때 확률적인 수율은 90%이상이다. 이는 제작된 90% 이상의 렌즈가 0.07λ RMS 이하의 파면수차를 갖는다는 것을 의미한다. 이것은 광픽업 조립의 필수 과정이었던 렌즈 조정과정 없이 픽업을 만들 수 있다는 것을 의미한다. 마이크로 가공 공정의 조정 공차보다 렌즈의 디센터 공차가 크기 때문에 조정 과정 없이 기계적으로 조립이 가능한 것이다. 실제 렌즈의 디센터 공차는

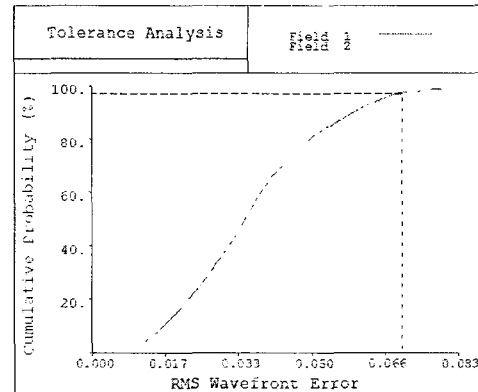


Fig. 4 Monte Carlo simulation result

$38\mu\text{m}$ 으로 조립과정의 조정공차인 $2\mu\text{m}$ 보다 19배가 된다. 이는 설계 시에 렌즈가 충분히 큰 공차를 갖도록 설계하는 것을 최우선으로 했기 때문이다. 렌즈의 틸트 공차는 0.47° 로 발생할 수 있는 공차의 10배 이상이 된다.

3. 광픽업 설계

3.1 광경로 설계

거울을 사용해 LD에서 나온 빔을 렌즈 쪽으로 쬐어준다. 디스크에서 반사된 빔은 다시 대물렌즈, 회절소자, 그리고 거울을 거쳐 PD(Photo Diode)로 들어오게 되고 PD에서 나온 신호로 서보를 하게 된다. Fig. 5에 광경로를 나타내었다.

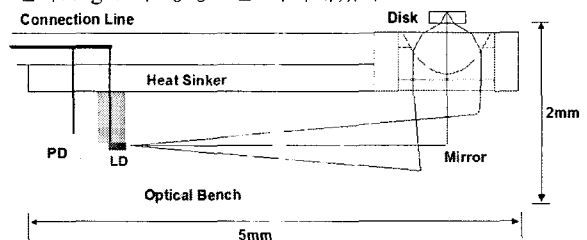


Fig. 5 Optical path of the pickup

기존의 픽업에서는 대물렌즈만이 액츄에이터에 장착되어 포커싱과 트래킹 서보를 했지만 초소형 광픽업은 픽업 차체가 움직이면서 서보를 하게 된다. 광소자가 모두 고정되어 있기 때문에 푸시풀(Push Pull) 트래킹법에서 생기는 오프셋 문제를 해결할 수 있다. 즉, 푸시풀법에서는 트래킹을 할 때 대물렌즈가 이동하기 때문에 디스크에 경사가 생기면 빔이 트랙 중심에 있더라도 트래킹에러 신호가 0이 되지 않았다. 반면 움직이는 광소자가 없는 일체형 초소형 광픽업에서는 이러한 문제를 해결할 수 있다.

반사광을 PD로 보내는 회절소자로는 편광 홀로그램 (Polarizing Holographic Optical Element) 을 사용한다. 반사광만이 영향을 받도록 만든 회절 소자이다. LD에서 나온 빔은 선편광된 빔인데 디스크로 들어갈 때에는 편광 홀로그램의 영향을 받지 않고 QWP(Quarter Wave Plate)를 거쳐 원편광된 후에 디스크에서 반사되고 다시 QWP를 거쳐 처음의 선편광과 수직방향의 선편광 빔으로 바뀐다. 이때는 편광 홀로그램에 의해 PD 쪽으로 빔이 꺾이게 된다. 반사된 빔의 경로를 Fig. 6에 나타내었다.

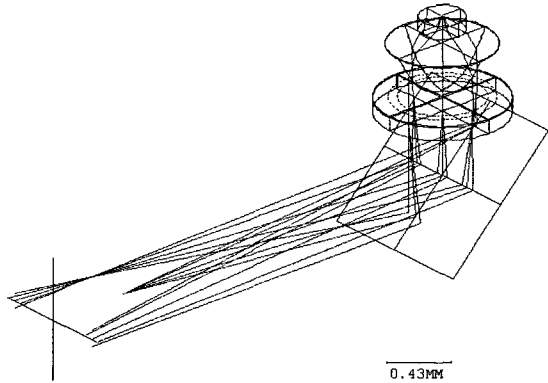


Fig. 6 3D view of optical path

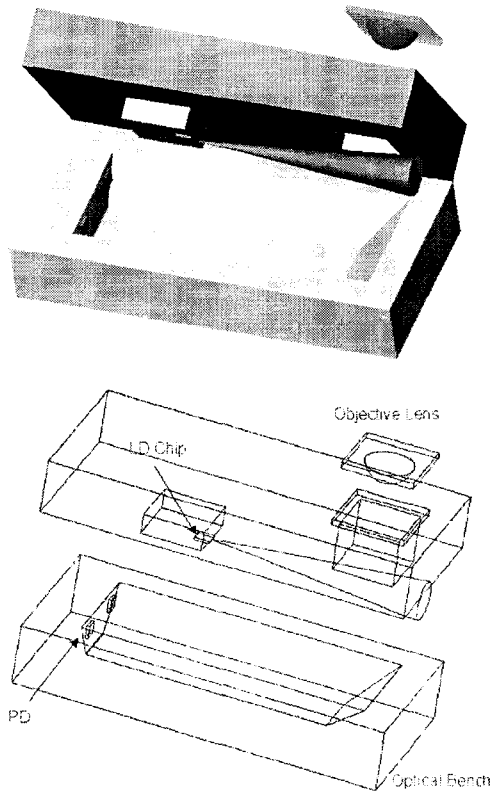


Fig. 7 3D Model of pickup

광픽업은 전체드라이브의 두께를 고려하여 작동 거리(Working Distance)를 포함한 두께가 2mm 이하가 되도록 설계하였다. 모든 공정은 웨이퍼 위에서 진행된다. 광학 벤치(Optical Bench)를 식각하고 코팅하여 거울면을 만들고 거울 반대면에 PD를 만들어 디스크에서 반사되어 나온 빔을 받는다. 방열판으로 사용되는 웨이퍼 위에는 LD 마운트를 형성하고 칩형태의 405 nm LD를 접합한다. 광학 벤치와 LD가 있는 웨이퍼 그리고 렌즈를 접합하여 픽업이 만들어 진다. 픽업의 구조를 Fig. 7에 나타내었다.

4. 결론

공차설계를 통해 충분한 조정공차를 가지는 대물 렌즈를 설계하였고, 설계된 대물렌즈를 사용해 Blu-Ray Disk에 사용 가능한 초소형 광픽업의 광학계를 설계하였다. 웨이퍼 공정을 통한 대량 생산이 가능하고 수율이 90% 이상 되도록 설계하였다.

후 기

본 연구는 삼성종합기술원 (Samsung Advanced Institute of Technology) 의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. Seiji Nishino, Hiroaki Yamamoto, Kenichi Kasazumi, Hidenori Wada, "Application of a Polarizing Holographic Optical Element to a Recordable Optical Head," Jpn. J. Appl. Phys. Vol.35(1996) pp. 357-361 Part 1, No. 1B, January 1996
2. M.A.H. van der Aa, M.A.J van As, A.L. Braun, B.H.W. Hendriks, C.T.H. Liedenbaum, B. van Rompaey, G.E. van Rosmalen, J.J.H.B. Schleipen, H.J. Borg, G.J.P. Nijse, P.G. Nuijens, N.P.D.M. van Aken, P.T.Jutte, J.M.G. Renckens, R.I. van Steen, S. Bramwell, P. Stavely., "Small Form Factor Optical Drive : Miniaturized Plastic High-NA Objective and Optical Drive," Joint International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage, pp. 251 - 253, 2002.
3. 김홍민, 정경성, 최우재, 박노철, 강신일, 박영필, "초소형 광 정보 저장 기기를 위한 광 경로 설계 및 마이크로 보정 렌즈 제작," 한국 정밀공학회지 2002년도 춘계학술대회논문집 pp.115-118