

Small Form Factor 광 디스크 드라이브용 초소형 집적형 광픽업 개발

Development of Integrated Optical Pickup for Small Form Factor Optical Disc Drive

조은형[†], 손진승^{*}, 이명복^{*}, 서성동^{*}, 김해성^{*}, 강성목^{**}, 박노철^{**}, 박영필^{**}
Eun-Hyoung Cho[†], Jin-Seung Sohn^{*}, Myung-Bok Lee^{*}, Sung-Dong Suh^{*}, Hae-Sung Kim^{*},
Sung-Mook Kang^{**}, No-Cheol Park^{**} and Young-Pil Park^{**}

Abstract

Small form factor optical pickup (SFPOP) corresponding to BD specifications is strongly proposed for the next-generation portable storage device. In order to generate SFPOP, small sized optical pickup has been fabricated. We have developed a small sized optical pickup that is called the integrated optical pickup (IOP). The fabrication method of this system is mainly dependant on the use of the wafer based micro fabrication technology, which has been used in MEMS process such as photolithography, reactive ion etching, wafer bonding, and packaging process. This approach has the merits for mass production and high assembling accuracy. In this study, to generate the small sized optical pickup for high recording capacity, IOP corresponding to BD specifications has been designed and developed, including three main parts, 1) design, fabrication and evaluation of objective lens unit, 2) design and fabrication of IOP and 3) evaluation process of FES and TES.

Key Words : Blu-ray Disc, Optical Pickup and Wafer Level Packaging

1. 서 론

최근 휴대폰, 디지털 카메라, 캠코더, MP3 플레이어, 노트북 PC 등 휴대용 디지털 기기의 보급이 확산 되면서 휴대용 저장장치의 수요가 급증하고 있다[1]. 광 기록기술에 있어서 기록밀도를 증가시키기 위한 방안으로 고 NA 의 렌즈와 짧은 파장의 광원이 사용되어지고 있다. Blu-ray Disk(BD)는 광 저장장치의 고밀도화와 소형화를 만족시킬 수 있는 유력한 후보 기술 중 하나이다. 그러므로, 차세대 초소형 정보저장기기 개발을 위해 핵심 요소 부품인 BD 규격을 만족하는 Small Form Factor 용 초소형 광픽업 개발은 필수적이다.

본 연구에서 BD 규격의 초소형 집적형 광픽업을

개발하였다.

집적형 광픽업은 통상적인 Photolithography, Reactive Ion Etching, Wafer Bonding 및 Packaging 공정을 이용하여 제작하였다. 따라서, 개발된 집적형 광픽업은 대량 생산이 가능하고, 고정밀 조립 정확도를 가질 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 첫째로 BD 규격을 만족하는 초소형 대물렌즈를 설계하고, 전통적인 압축성형 기술과 Micro Fabrication 기술을 접목하여 초소형 대물렌즈의 제작과 성능을 측정하였다. 둘째로 집적형 광픽업을 설계하고 제작하였고, 마지막으로 정적 오차 신호 검출방식을 집적형 광픽업에 탑재된 P-HOE 의 정렬 상태에 따른 정적인 포커싱 및 트래킹 오차 신호를 피드백하여 P-HOE 의 미세조립 및 조정을 수행하였고 BD 규격을 만족하는 포커싱 및 트래킹 오차 신호 밸런스 값을 검출하였다.

2. 집적형 광픽업의 설계 및 제작

2.1 하이브리드 마이크로 렌즈 및 집적형 광픽업의 광경로 설계

[†] 삼성종합기술원
E-mail : cchoeh@samsung.com
TEL : (031)280-9378

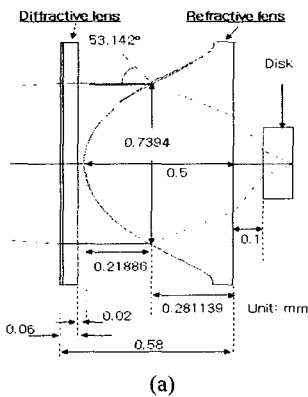
^{*} 삼성종합기술원

^{**} 연세대학교 정보저장기기연구센터
논문접수일(2006년 6월 11일)

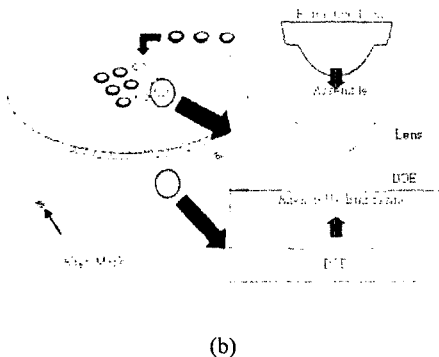
대물렌즈는 굴절렌즈와 회절렌즈로 구성된 하이브리드 렌즈로 BD 규격, Small Form Factor 에 적용 가능한 크기 및 제작 가능성[2]을 고려하여 설계 되었다.

굴절렌즈는 제작 용이성을 위해 한 면의 비구면을 갖도록 설계가 되었고, 회절렌즈는 위치와 표면 형상은 높은 회절효율을 갖도록 설계되었다. 특히 회절렌즈는 굴절렌즈 조립을 위해 안착홀을 갖는 렌즈홀더와 함께 Wafer 공정으로 제작이 가능하다. 고 생산성을 고려하여 굴절렌즈와 회절렌즈 간의 조립공차가 크도록 설계가 되었으며, 결과적으로 굴절렌즈는 Pick & Place 공정에 의해 렌즈 홀더에 조립될 수 있다.

Fig. 1(a)은 설계된 렌즈의 구조와 주요 치수를 보여 준다. 굴절렌즈는 전통적인 Glass Molding 기술을 이용하여 제작이 가능하다. 형상 정밀도가 높은 굴절렌즈를 얻기 위해서는, 금형의 비구면 형상을 정확히 가공하는 것이 무엇보다



(a)



(b)

Fig. 1 (a) Structure and principal dimensions of the designed lens; (b) fabrication process of lens array

보다 중요하며, 또 정확하게 가공된 금형의 형상을 성형 공정에서 그대로 Glass 소재에 전사시켜야 한다. 성형 공정의 순서는 금형 Setting → 금형 예열 → 성형조건 입력 → Gob(또는 Ball) Loading → 성형 → Gob Unloading → Lens 형상측정의 순으로 이루어진다. 성형에는 Toshiba 제의 진공성형기(GMP-207HV)를 사용하였다. Fig. 2 에 성형에 사용한 시간에 따른 성형온도, 성형압력의 Cycle 을 나타내었다. 본 성형공정에서는 Typical 한 조건으로 성형 압력 70 kgf/cm², 성형온도 630℃, 성형시간 30sec, Position 34.98~ 35.0 에서 공정을 수행하였다. 여기에서, 성형압력이란 최초 성형이 이루어질 때 금형에 가해지는 1 차 압력, 성형온도란 1 차 압력이 가해질 때의 온도, 성형시간이란 1 차 압력이 가해지는 시간, Position 이란 금형의 상측과 하측이 맞닿는 위치로서 렌즈의 두께를 결정짓는 요소이다. 성형이 끝난 후에는 300℃ 이하의 온도에서 렌즈를 Unloading 하게 된다.

회절렌즈 제작에 있어서는 UV Embossing 기술을 이용하였다. 특히 회절렌즈 어레이는 렌즈홀더의 투명 기판 위에 안착홀의 중심과 회절렌즈의 중심이 일치하도록 복제가 된다. 여기서, UV 복제를 위한 Master 는 통상적인 E-beam Lithography 및 Ni-electroplating 에 의해 제작이 되었고, 다시 UV Replication 을 통해 Polymer Mold 가 제작이 되었다. 마이크로 굴절렌즈를 만들기 위해서는 먼저 비구면 Surface Machining 장비를 이용해 Core Mold 를 만들고, 이 Mold 를 이용하여 고온 고압의 압축성형을 통해 제작이 되었다. 이렇게 제작된 마이크로 굴절렌즈는 별도의 조립/조정 공정 없이 렌즈홀더에 삽입되고 본딩 공정에 의해 접합이 된다. 이러한 간단한 제작방법이 가능한 것은 설계된 하이브리드 렌즈의 굴절렌즈와 회절렌즈 간의 조립

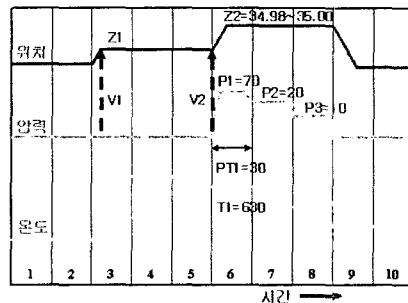


Fig. 2 Cycles of position, pressure, and temperature during glass molding

공차가 충분히 확보되었기 때문이다. Fig. 1(b)는 마이크로 렌즈 어레이의 제조 방법을 보여 준다.

개발된 렌즈의 성능을 평가하기 위해 회절렌즈의 회절효율은 참고문헌 [3]에 제시된 방법으로 수행하였고, 하이브리드 렌즈의 파면수차는 Modified Mach-Zehnder 간섭계를 이용해 측정하였다. 회절렌즈의 측정된 회절효율은 대략 85%이며, 하이브리드 렌즈의 파면수차는 0.029λrms 로 비교적 우수한 성능을 보여 준다.

본 연구에서 개발된 집적형 광픽업은 블루 레이저 다이오드(LD), 2 개의 마이크로 미러, 1/4 파장판(QWP)을 갖는 편광 홀로그래피 광 요소(P-HOE), 하이브리드 마이크로렌즈, 포토 다이오드(PD) 및 실리콘 Optical Bench(SiOB)로 구성이 된다. Fig. 3(a)와 (b)는 개발된 집적형 광픽업의 대략적인 구조를 보여 준다. Fig. 4 는 개발된 집적형 광픽업에서의 광경로를 보여 준다. LD 로부터 방사된 광은 45 도 미러를 통해 반사가 되고 QWP 를 가지는 P-HOE 를 통과하게 된다. QWP 는 LD 로부터의 선형 편광빔을 원형 편광빔으로 바꾸어 준다. 다음으로 이 원형 편광빔은 하이브리드 렌즈에 의해 광 디스크 위에 포커싱이 된다. 디스크로부터 반사된 광은 QWP 에 의해 다시 선형 편광빔으로 바뀌고 P-HOE 에 의해 PD 로 보내지게 된다. 그리고, 포커싱과 트래킹 에러 신호는 Astigmatism 및 Push-pull 방법에 의해 얻어진다.

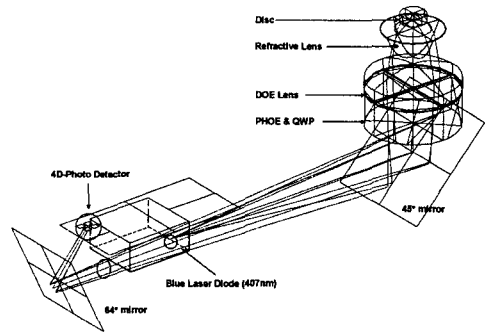


Fig. 4 Optical path of integrated optical pickup

Table 1 Design specification

Parameter	Design spec.
NA	0.85
Wavelength (nm)	407 ± 5
Working Distance(μm)	100
Weight (mg)	29.23
Dimensions (mm)	1.9×2.2×6.6
FES Detection	Astigmatism
TES Detection	Push-pull

개발된 집적형 광픽업의 높이, 폭 및 길이는 각각 1.9mm, 2.2mm 및 6.6mm 이다. 또한 전체 질량은 대략 29.23mg 이다.

2.2 집적형 광픽업의 제작

SiOB 는 초소형 광픽업의 핵심 요소 중 하나이다. 먼저 PD 와 배선이 Wafer 위에 제조가 되고, 빔 홀과 P-HOE 가 안착되는 Groove 가 Etching 공정에 의해 제작이 된다. 다음으로 사전에 Dummy Wafer 위에 Pre-align 된 2 종류의 반사 미러 Bar 들이 PD 와 배선이 공정이 완료된 Wafer 와 Eutectic Bonding 에 의해 접합이 된 후, SiOB Wafer 를 다이싱한다. 마지막으로 LD Flip Chip Bonding 에 의해 Submount 위에 접합된 LD 를 Active Alignment 및 Soft Beam Soldering 에 의해 각각의 SiOB 위에 접합한다.

하이브리드 마이크로 렌즈는 미러와 LD 가 접합된 각각의 SiOB 위에 Active Alignment 를 통해 접합이 된다. 이를 위해 본 연구에서는 렌즈 측정시 사용된 Modified Mach-Zehnder 간섭계 (Sextant Labs, Inc.)와 Gripping Stage 를 이용하였다.

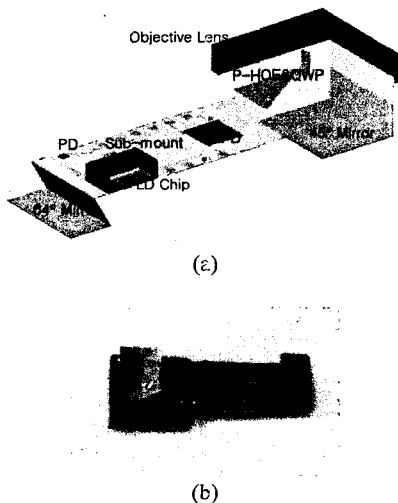


Fig. 3 (a) Schematic of integrated optical pickup; (b) picture of silicon optical bench

우선 대물렌즈의 성능을 평가하는 방법과 같이 외부 Pin Hole Source 를 이용해 간섭계의 광학 요소, 즉 45 도 미러, NA 0.9 Reçollimation Lens 와 대물렌즈 간의 정밀한 광정렬을 수행한다. 그리고 3 축 병진 및 2 축 회전 Stage 를 갖는 Gripping Jig 위에 SiOB 를 장착하고 Pin Hole Source 를 Gripping Jig 로 대체한다. 대물렌즈와 간섭계의 광학요소 간 광정렬이 동일 광축 상에서 수행되었으므로 간섭계의 내부 광원과 Gripping Jig 의 회전 Jig 를 이용하여 SiOB 의 기준면에 대해 Tilt 광정렬을 수행한다. LD 는 SiOB 위의 동일한 기준면에 대해 Active Alignment 가 수행되었으므로 위의 Tilt 광정렬에 의해 간섭계의 광요소와 대물렌즈, 그리고 SiOB 의 LD 는 모두 동일한 광축상에 정렬이 이루어진다.

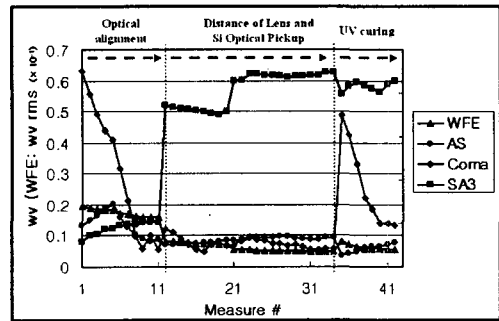
Tilt 정렬이 완료된 후 Gripping Jig 의 병진 Jig 를 조정하여 대물렌즈와 SiOB 의 대물렌즈 안착면 사이의 거리를 줄여야 한다. 이 때, 간섭계의 자동 정렬 방법을 이용해 Coma, Astigmatism 및 구면 수차를 줄여 가면서 미세 광정렬을 수행한다. 이 때 사용되는 광원은 SiOB 위의 LD Chip 으로부터 나오는 광을 이용한다. 즉, Active Alignment 방법에 의해 대물렌즈와 SiOB 간의 광정렬이 이루어지는 것이다.

SiOB 와 대물렌즈 간의 Active Alignment 가 완료되면 UV 접착제를 이용해 접합한다. 그러나, UV 경화 후에 전체 파면수차가 커지는 결과를 보이는 데 이러한 이유는 UV 접착제가 UV 경화 시 수축이 되기 때문에 대물렌즈와 SiOB 사이에 초기 광정렬 위치가 벗어나기 때문이다. 대물렌즈 조립이 완료된 후 집적형 광픽업의 파면수차를 측정된 결과 일반적인 요구 성능($0.06\lambda_{rms}$ 이하)을 만족함을 알 수 있다. Fig. 5(a)는 대물렌즈 조립 조정에 따른 수차 변화를 보여 주며, Fig. 5(b)는 전체 집적형 광픽업의 UV 경화 전후의 파면수차 측정 결과를 보여 준다.

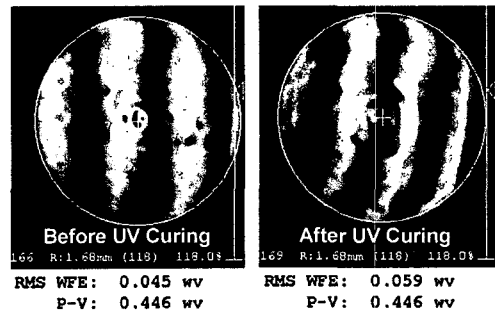
일반적인 분리형 광픽업의 경우 디스크 위의 입사빔과 반사빔을 분리하기 위해 Optical Isolator 가 필요하다. 다시 말하면, Optical Isolator 는 디스크로부터의 반사빔을 모두 LD 가 아닌 PD 로 보내는 역할을 한다. 본 연구에서는 광픽업의 집적화와 소형화를 위해서 종래의 분리형 광픽업에서의 Optical Isolator 가 아닌 동일한 기능을 하는 P-HOE 를 이용하였다. Fig. 6 에 P-HOE 의 설계 결과를 도시하였고, Table 2 에는 P-HOE 의 규격을 정리하였다. 1 차 회절광을 이용하여 비점수차를 발생시키고, Push-pull 신호가 PD 에서 얻어진다. Fig. 6(a)에서 P-HOE 의 회절 Pattern 은 디스크로

부터의 반사광이 PD 위에 초점이 맺히도록 설계되었다.

P-HOE 를 대물렌즈가 접합되어 있는 SiOB 위에 안착시키기 위해 BD 디스크를 대물렌즈 포커싱 지점에 위치시킨다. 디스크로부터 반사된 광은 P-HOE 를 통과한 후 Fig. 7 에 도시된 바와 같이 4 분할 PD 위에 상을 맺히게 된다. 4 분할 PD 의 각각의 소자 위에 맺혀진 광량이 유사하도록 P-HOE 를 조정하고 UV 접착제에 의해 고정된다. Table 3 은 사용된 PD 의 사양을 보여 준다.



(a)



(b)

Fig. 5 (a) Optical performance variation during lens mounting; (b) fringe pattern

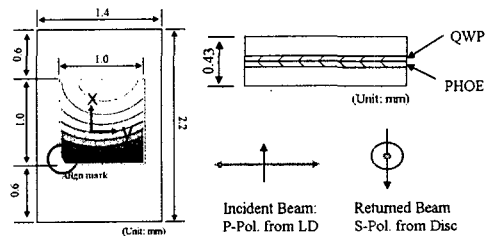


Fig. 6 Polarized HOE (a) top view; (b) side view

Table 2 Specification of P-HOE

Parameter	Design spec.
Substrate size (mm)	1.4×2.2×0.43
P-HOE size (mm)	1.0×1.0×0.43
Weight (mg)	2.5
P-pol. transmittance	90 %
S-pol. efficiency	35 %



Fig. 7 Four segmented PD on SiO₂

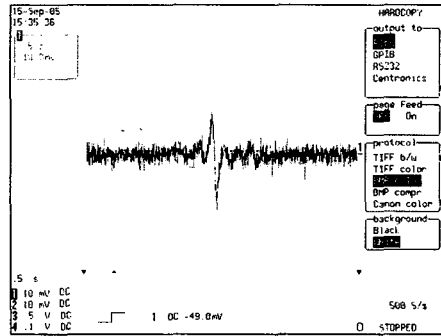
Table 3 Specification of PD

Parameter	Specification
PD size (μm)	50×50
Responsivity (A/W)	0.21
Dark current (nA)	0.3 ~ 1.2
Capacitance (pF)	1.8 ~ 3.9

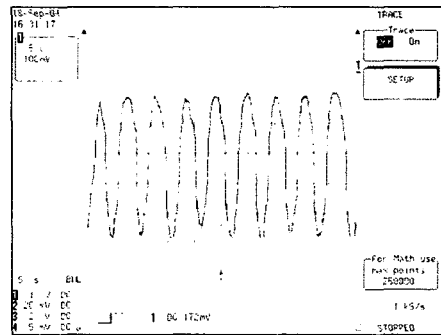
3. 집적형 광픽업 성능 측정결과

본 연구에서 집적형 광픽업의 성능을 측정하기 위해 정적 오차신호 측정시스템을 구성하였다[4]. 제안된 정적 오차신호 측정시스템에서는 서보 시스템을 이용하여 집적형 광픽업에 동적 거동을 부여 하는 대신 디스크를 포커싱 방향과 트래킹 방향으로 거동시킴에 의해 포커싱 신호 및 트래킹 신호를 검출한다. Fig. 8에 측정된 포커싱 및 트래킹 신호가 도시되어 있다.

Table 4에 정리된 바와 같이 포커싱 및 트래킹 신호 밸런스가 4.5% 및 8.3%와 같고 BD 규격을 충분히 만족함을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 8 Error signals (a) focusing error signal; (b) tracking error signal

$$\frac{(a - b) / 2}{a + b} \times 100 \% = 4.5 = FE \text{ balance} < 10 \%$$

$$\frac{(a - b) / 2}{a + b} \times 100 \% = 8.33 = TE \text{ Balance} < 10 \%$$

Table 4 Signal balances of FES and TES

Term	Measurement	Specification
FE Balance	4.5%	< 10%
TE Balance	8.3%	< 10%

4. 결론

본 연구에서 Small Form Factor용 초소형 광픽업을 개발하기 위해 NA 0.85 하이브리드 마이크로렌즈 및 집적형 광픽업을 설계, 제작 및 평가를 수행하였다. 하이브리드 마이크로렌즈는 어레이 형태로 제작되었고 회절효율과 파면수차는 고밀도 초소형 광픽업에 적용 가능한 측정 결과를 보여

주었다. 집적형 광픽업도 Wafer 공정기술을 이용하여 제조가 되었으며, 개발된 집적형 광픽업의 성능을 평가하기 위해 제안된 측정시스템과 정적 오차신호 평가법을 이용하였다. 제안된 측정 방법으로 포커싱 및 트래킹 신호 밸런스를 측정한 결과 요구되는 성능을 충분히 만족함을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 삼성종합기술원과 연세대학교 정보저장기기연구센터 간의 Joint Project 의 수행결과로 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] Mitsuhiro Togashi, Takayuki Sasaoka, et al., "Miniaturized Optical Pickup and Mechanism for Mobile Optical Drive", Proceeding of ISOM 2003, pp.106-107
- [2] Jin-Seung Sohn et al., "Development of Micro-Lens for High Density Small form Factor Optical Pickup", Technical digest, ISOM/ODS 2005, TuA3
- [3] Jin-Seung Sohn, et al., "Design and Fabrication of diffractive optical elements by use of gray-scale photo lithography" APPLIED OPTICS Vol. 44 No.4 Feb. 2005, pp.506-511
- [4] Sung-Mook Kang et al, "Evaluation of Static Error Signal for Super Slim Optical Pickup", Transactions of the Society of information Storage Systems, Vol.1, 2005, pp.115-120.
- [5] M.A.H. van der Aa, M.A.J. van As, et al., "Small Form Factor Optical Drive: Miniaturized Plastic High NA Objective Lens and Optical Drive", Proceedings of ISOM/ODS 2002, pp. 251-253.
- [6] B. W. Bell Jr, "DataPlay's Mobile Recording Technology", Technical digest, Optical Data Storage Topical Meeting 2001, pp.4-6.