

초소형 광 픽업용 하이브리드 렌즈의 능동 정렬 및 성능평가

강성목[†], 이진의^{**}, 조은형*, 손진승*, 박노철^{**}, 박영필^{**}

Active Alignment and Performance Evaluation of Micro Hybrid Lens for Small Form Factor Optical Pickup

Sung-Mook kang, Jin-Eui Lee, Eun-Hyoung Cho, Jin-Seung Sohn,
No-Cheol Park, Young-Pil Park

Key Words : Small Form Factor Optical pickup (초소형 광 픽업), Integrated Optical Pickup(집적형 광 픽업), Active alignment(능동 정렬), DOE (회절광학소자), Photo Detector (수광소자),

ABSTRACT

The next generation of optical storage systems requires higher numerical aperture (NA) objective lenses and shorter wavelength laser in order to improve the unit areal density. A blu-ray technology satisfies a miniaturization and a high capacity which are the requirements of the portable device. In this paper, we analyze the optical performance of hybrid micro lens and do active alignment. The hybrid micro lens is manufactured by using a wafer based fabrication technology. Optical components of hybrid micro lens are evaluated. The measurement of the optical power, the spot size and the wavefront error are performed to evaluate the hybrid micro lens with NA 0.85. Using the measured data, we estimate if the performance of hybrid micro lens corresponds to the designed performance. After the performance of hybrid micro lens is evaluated, the integrated optical pickup and the hybrid micro lens are assembled by active alignment using UV curing and the optical performance of SFFOP is satisfied with BD specifications.

1. 서론

최근 휴대폰, 디지털 카메라, 캠코더, MP3 플레이어, 노트북 PC 등 휴대용 디지털 기기의 보급이 확산되면서 휴대용 저장장치의 수요가 급증하고 있다. 휴대용 저장장치의 요구사항으로 초소형화, 대용량화를 들 수 있는데, 이를 만족할 수 있는 기술의 하나로 청자색 레이저(Blu-ray)를 이용한 광 저장장치를 들 수 있을 것이다. 초소형 광저장

장치에 사용되는 3cm 디스크에는 1.5Gbyte 를 기록할 수 있으므로 기존의 휴대용 저장장치에 비해 저렴한 가격으로 대량배포가 가능하다. 또한 405nm 의 파장을 갖는 레이저 다이오드(Laser Diode)와 고 개구수(Numerical Aperture, NA)를 갖는 광학계를 사용함으로써 기존의 CD, DVD 보다 고밀도화가 가능해졌으며, 초미세 가공(Micro Fabrication) 기반 기술을 사용하여 광부품의 초소형화가 가능하게 되었다.

본 연구에서는 405nm 의 파장을 갖는 레이저 다이오드를 사용하여 0.85 의 고 개구수를 갖는 하이브리드 마이크로 렌즈의 광성능을 평가하기 위하여 광파워 미터(Optical Power Meter)를 사용한 광효율 측정, 빔 프로파일러(Beam Profiler)를 이용한 스팟 사이즈(Spot Size)의 측정, 간섭계를 이용한 파면수차의 측정 등을 수행하였고 이러한 측정치를 설계 사양과 비교 분석하였으며, 또한 이렇게

[†] 연세대학교 대학원 정보저장공학과
E-mail : cpkangsm@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-4677 FAX : (02)365-8460

* 삼성종합기술원

** 연세대학교 정보저장기기연구센터

평가된 하이브리드 마이크로 렌즈를 두께 2mm의 초소형 광 픽업에 간섭계를 이용하여 능동 정렬 및 조립을 수행한 후 이에 관한 프로세스를 정립하였다.

1.1 초소형 광 픽업 모델

개발된 초소형 광 픽업은 블루레이저 다이오드, 거울, 1/4 파장판, P-HOE, 대물렌즈, 수광소자 그리고 Optical Bench로 구성된다.

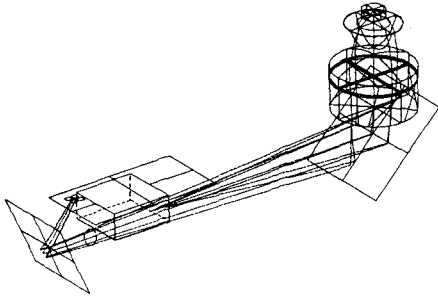


Fig. 1 Optical Beam Path of Super Slim Optical Pick-up

레이저 다이오드에서 나온 빔은 45° 거울에서 반사되어 P-HOE와 1/4 파장판을 거쳐 대물렌즈에 의해 디스크에 집광된다. 대물렌즈는 굴절렌즈와 회절소자가 조합된 하이브리드형 렌즈이다. 회절소자는 색수차를 줄이기 위해 사용되고 1/4 파장판은 선평광 빔을 원편광으로 바꾸어 주는 역할을 한다. 디스크에서 반사된 빔은 다시 1/4 파장판에 의해 입사된 빔과 수직인 선평광으로 바뀌게 되고 P-HOE에 의해 -1 차 빔이 수광소자로 보내지게 된다. Fig.1에서는 Code V 시뮬레이션으로 레이저에서 발사된 빔이 4 분할 수광 소자에 집광되기까지의 경로를 보여주고 있다.

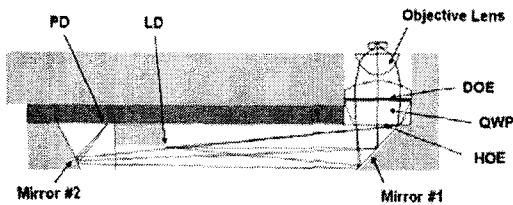


Fig. 2 Schematic picture of the suggested fine conjugate integrated optical pick-up composed of minimum components

Fig.2는 초소형 광 픽업의 구성 부품을 나타내고 있다. 웨이퍼 레벨로 제작된 본 집적형 픽업은

6.6 x 2.2 x 2 mm 정도의 대략적인 크기와 32.88 mg의 질량을 갖게 된다.

2. 하이브리드 마이크로 렌즈

2.1 회절광학소자의 이론적인 광효율 및 측정

회절광학소자와 같은 이진 광학계(Binary Optics)의 회절 효율은 연속적인 형상(continuous profile)을 가정하였을 때 회절광학소자의 효율에 오차 위상 구조(error phase structure)의 0 차 효율을 곱함으로써 결정된다. 일반적으로 m 차수의 회절을 사용하고 N 개의 레벨을 갖는 회절광학소자의 회절효율은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다

$$\begin{aligned} \epsilon_m^N &= \left| \frac{\sin \left[\pi \left(\frac{(n-1)d}{\lambda} - m \right) \right]}{\pi \left(\frac{(n-1)d}{\lambda} - m \right)} \right|^2 \left| \frac{\sin \left[\pi \left(\frac{(n-1)d}{\lambda N} \right) \right]}{\pi \left(\frac{(n-1)d}{\lambda N} \right)} \right|^2 \\ &= \left| \frac{\sin \left[\pi \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} - m \right) \right]}{\pi \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} - m \right)} \right|^2 \left| \frac{\sin \left[\pi \left(\frac{\lambda_0}{\lambda N} \right) \right]}{\pi \left(\frac{\lambda_0}{\lambda N} \right)} \right|^2 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 n , d , $m\lambda_0$ 와 λ 는 각각 회절광학소자의 굴절률, 연속적인 형상의 높이, 회절 차수, 설계 파장, 측정 파장을 나타낸다.

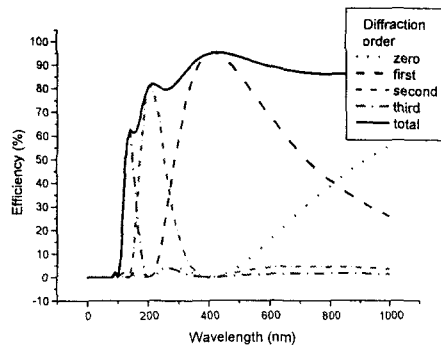


Fig. 3 Diffraction Efficiency of DOE versus Wavelength variance in case of 8-level

8 레벨 회절광학소자에서 파장 변화에 따른 회절 효율의 변화를 Fig.3에서 나타내고 있다. 405nm 파장을 사용하는 회절광학소자에서 +1 차 빔의 이론적인 회절 효율은 94.99%를 나타내었다. 효율 측정 실험은 청자색 광원용 광파워 미터를

사용하였으며, 유효 개구(Clear Aperture)보다 큰 부분의 빛을 차단하기 위하여 회절광학소자의 앞부분에 800 μm 의 개구를 사용하였다. 또한 설계 차수인 1차 빔만의 효율을 측정하기 위하여 회절광학소자를 투과한 1차 회절광의 초점거리에 500 μm 의 개구를 두어 다른 차수의 회절광의 영향을 최소화하였다. Fig.4는 회절광학소자의 효율 측정을 위한 실험 장치 구성도를 나타낸다.

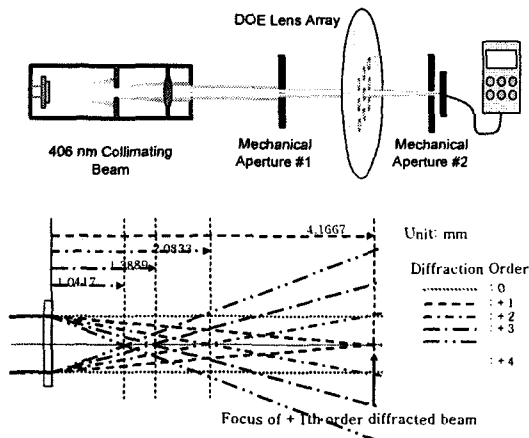


Fig. 4 Experimental Apparatus for Measuring the Efficiency of DOE

9개 샘플(sample)에 대한 측정 결과 회절광학소자 기판의 평균 투과율은 90.16%를 보였으며, 회절광학소자의 효율은 평균 84.57%를 나타내었다. 이는 이론치와 약 10% 정도가 차이가 나는 것으로, 회절광학소자의 중심부와 가장자리부분의 두께 편차 그리고 데드존(Dead Zone)에 의한 영향이라고 판단된다.

2.2 스팟 사이즈(Spot Size) 분석 및 측정

렌즈 제작시 발생할 수 있는 공차로는 굴절렌즈의 형상 및 두께 오차, 렌즈의 굴절률 변화, 렌즈 각 면의 디센터(decenter)를 들 수 있으며, 충분한 공차를 확보할 수 있도록 설계 단계에서 반영된다. 실제로 하이브리드 마이크로 렌즈를 제작하여 측정해 보았을 때, 굴절렌즈의 두께 오차가 위의 공차들 중에서 가장 크게 발생하였으며, 이에 대한 검증이 필요하였다. 시뮬레이션은 Code V를 사용하였으며, 굴절렌즈의 두께를 설계값인 500 μm 부터 495 μm 만큼 변화시켰을 때 렌즈의 마지막 면과 디스크면 사이의 작동거리(Working Distance)를 최적화 해 보았다. Fig.5은 하이브

리드 마이크로 렌즈의 두께편차에 따른 PSF를 나타낸 것이다.

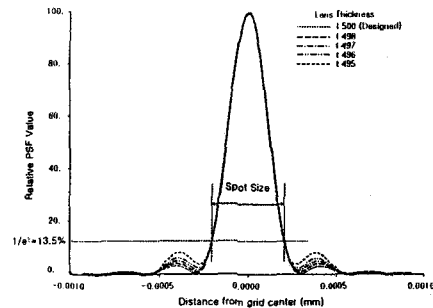


Fig. 5 Point Spread Function by Lens Thickness Variation

최적화 결과 500 μm 로 설계된 두께의 렌즈를 지닐 때 412nm의 스팟 사이즈를 얻었으며, 나머지 렌즈 두께에 대해서도 412nm의 스팟 사이즈를 나타내었다. 하지만 두께 편차가 커질수록 PSF의 2nd 정점(peak)이 커지는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 광픽업에서 디스크의 정보를 재생할 때, 크로스토크(Crosstalk)를 유발시킬 수 있는 요인이 될 수 있다.

실험을 통한 스팟 사이즈 측정에서는 빔 프로파일러의 광축에 수직으로 놓이도록 렌즈를 정렬하는 것이 중요하다. 렌즈 홀더부가 빔 프로파일러에 장착된 상태에서는 렌즈 광축을 정렬하기가 힘들므로 광축을 정렬하기 용이한 장소에 전사시킨 후 그 위치에서 렌즈를 정렬한다. 빔 프로파일러에 다시 장착한 후에 저배율($\times 5$)의 현미경 렌즈로 스팟을 찾은 후 모니터의 정중앙에 오도록 대략 정렬한다. 고배율($\times 100$)의 현미경 렌즈로 교체 후 테스트 렌즈와 현미경 렌즈를 작동거리 100 μm 정도로 밀착시켜 스팟의 위치를 찾는다.

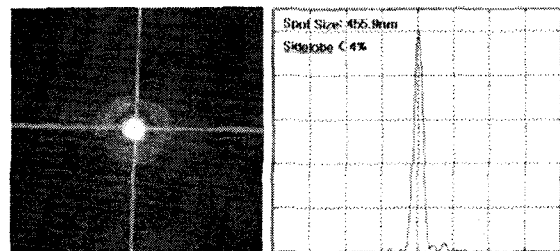


Fig. 6 Spot Shape and Point Spread Function of Hybrid Micro Lens

Fig.6 는 측정된 하이브리드 마이크로 렌즈의 이차원 스팟 형상과 PSF를 나타낸 것이다. 측정 결과 $1/e^2$ 되는 지점에서의 스팟 사이즈가 455.9nm로 나타났다. 또한 픽업 광학계의 성능기준인 파면수차 0.035λ 이하로 만족시키려면 사이드로브(Sidelobe)는 2.6%이하여야 하는데 현재 사이드로브는 4%정도로 개선이 요구된다.

2.3 파면수차의 분석 및 측정

핀홀(pinhole)을 사용하여 스파셜 필터링(Spatial Filtering)을 한 406nm 파장의 레이저 다이오드를 사용하여 0.85 의 개구수로 제작된 테스트 렌즈(test lens)에 입사시킨다. 테스트 렌즈에서 나온 빔은 0.1mm 기판(substrate)을 투과하여 0.9 의 개구수를 갖는 현미경 대물렌즈에 의해 평행빔으로 만들어진다. 간섭계 헤드로 진행한 빔은 테스트 렌즈의 수차 정보를 갖고 광선 분할기 (beam splitter)에 의해 두 갈래로 갈라진다. 이때 한 빔은 수차 정보를 갖고 진행하고, 나머지 빔은 핀홀을 통과하여 수차가 제거된 기준광이 된다. 이 두 빔이 간섭을 일으켜 간섭무늬를 형성한다. Fig.7 는 실제 파면수차를 측정한 수정된 마흐-젠더 간섭계의 개략도를 나타낸다.

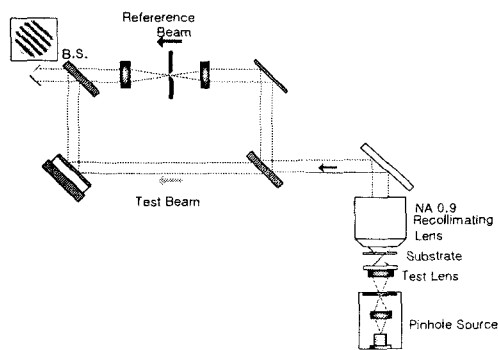


Fig. 7 Schematic diagram of Modified Mach-Zehnder Interferometer

Fig. 8 에서 보듯이 실험 장치는 크게 간섭계 헤드, 평행빔 타워(Recollimation Tower), 샘플 마운트(Sample Mount), 레이저 소스로 구성된다. 레이저 소스는 406nm 를 사용하였으며, 3 축 이송 스테이지(stage)위에 장착되어 있다. 광량은 $0.2mW \sim 2.0mW$ 이며, $1\mu m$ 핀홀을 사용하여 싱글 모드의 스파셜 필터링을 적용하였다. 평행빔 타워는 반사경, 0.9 의 개구수를 갖는 현미경 대물렌즈, 0.1mm 기판으로 구성된다.

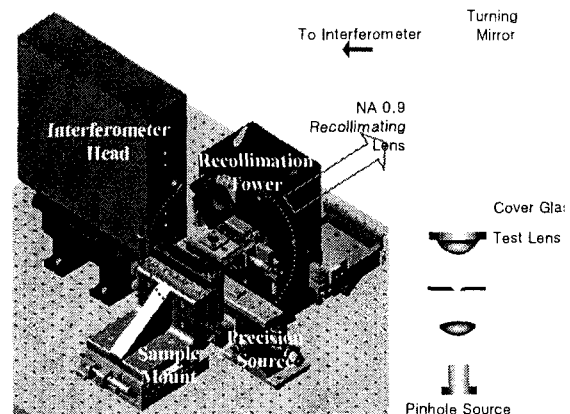


Fig. 8 Experimental Setup for WFE Measurement of Hybrid Micro Lens with Finite System

마지막으로 위상 이동(Phase Shifting) 방식을 사용한 수정된 마흐-젠더 간섭계 헤드로서 파면수차를 측정하게 된다. 파면수차의 측정 결과 Fig.9 과 같은 간섭무늬와 Table 1 과 같은 결과를 얻을 수 있었다.



Fig. 9 Interference Pattern and OPD of Hybrid Micro Lens

Table. 1 Experimental Results of Wavefront Aberration

Lens Samples	Value
Sample 1	0.044
Sample 2	0.036
Sample 3	0.051
Sample 4	0.047
Sample 5	0.046

Unit : λ_{RMS}

3. 초소형 광 픽업과 하이브리드 마이크로 렌즈의 능동 정렬 및 조립

3.1 렌즈와 SiOB의 능동 정렬 및 조립

초소형 광 픽업은 수정된 마흐-젠더 간섭계를 이용하여 하이브리드 마이크로 렌즈와 집적형 광 픽업을 능동 정렬 하고 조립을 수행하였다.

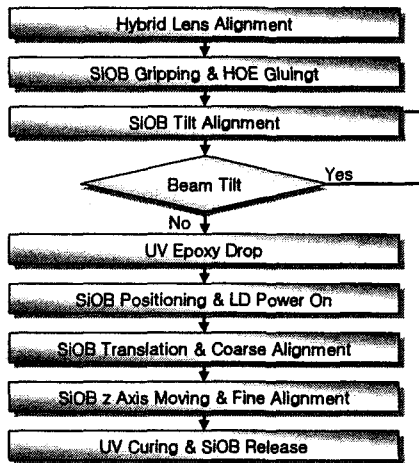


Fig. 10 Active Alignment and UV bonding Process

그러한 조립 프로세스(Procsee)는 Fig.10 에서 보여지고 있으며 Fig.11 에서는 하이브리드 마이크로 렌즈를 능동 정렬하기 위한 렌즈 고정 방법을 나타내고 있다. 렌즈의 조립 방법은 먼저 일반적인 렌즈 평가와 마찬가지로 간섭계를 정렬한 후 하이브리드 마이크로 렌즈를 정렬 및 조립하는 순서가 된다.

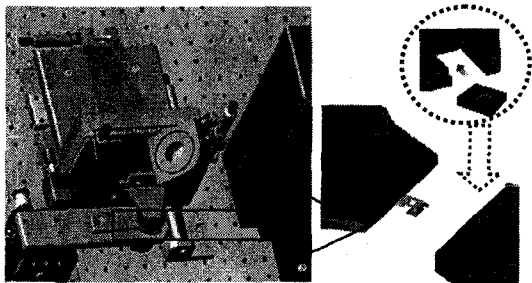


Fig. 11 Mount of SiOB and Hybrid Lens

초기에 능동 정렬을 수행할 경우 X,Y 의 병진 조정에 의해 광축 오차 정렬(Coma 수차 저감)를 크게 감소 시킬 수 있다. 즉 집적형 광 픽업과 하

이브리드 마이크로 렌즈의 기울어짐 및 광 축 이탈을 먼저 정렬 한 후 집적형 픽업을 하이브리드 마이크로 렌즈에 접근 시키면서 구면수차를 감소시키는 방법으로 정렬을 수행하고 UV 경화를 하게 된다.

3.2 능동 정렬 및 조립 평가 결과

하이브리드 마이크로 렌즈를 집적형 광 픽업에 UV 본딩(Bonding)한 결과는 Table 2 에서 보여지고있으며 이때의 간섭무늬는 Fig.12 와 같다. 결과에서 보이듯이 UV 본딩 전과 본딩 후 약 10%에서 20% 정도의 파면수차 변화가 나타났고 이러한 현상의 원인은 하이브리드 마이크로 렌즈가 경화되면서 빔의 광축을 기준으로 렌즈가 경사 및 광축 이탈현상이 나타나는 것으로 판단된다. 그러나 이러한 현상은 렌즈를 고정시키는 렌즈 홀더의 개선으로 보상될 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 렌즈가 경화되면서 발생하는 수차의 증가 또한 렌즈 자체의 파면수차 값이 약 $0.04\lambda_{RMS}$ 의 값을 만족 한다면 Table 1 에서 보여지는 결과와 마찬가지로 블루레이(Blu-ray) 디스크의 광학계 평가 기준인 $0.07\lambda_{RMS}$ 를 만족하는 결과를 보이는 것으로 나타나고 있다.

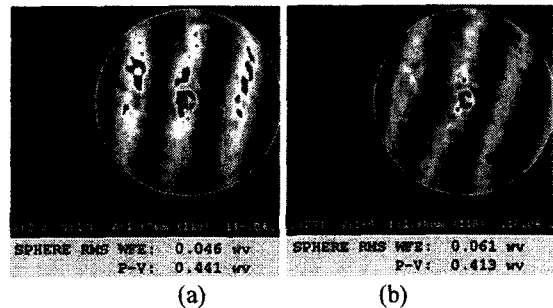


Fig. 12 Experimental Result (a) Before UV curing (b) After UV curing

Table 2. Optical performance evaluation of SFOP

Hybrid Lens Unit	UV curing	
	Before	After
Sample 1	0.044	0.064
Sample 2	0.036	0.054
Sample 3	0.051	0.054
Sample 4	0.047	0.056
Sample 5	0.046	0.061

Unit : λ_{RMS}

4. 결론

본 연구에서는 광파워 미터를 이용한 광효율 측정, 빔 프로파일러를 이용한 스팟 사이즈의 측정, 간섭계를 이용한 파면수차의 측정 등을 수행하여 하이브리드 마이크로 렌즈의 광성능을 평가하였고 이렇게 평가된 하이브리드 마이크로 렌즈를 집적형 광 픽업에 능동 정렬 및 조립을 수행하였다. 하이브리드 마이크로 렌즈의 광 부품 측정 결과, 광효율과 스팟 사이즈, 파면수차는 청자색 광원용 광 픽업에 적용될 수 있는 결과를 나타내었다. 수정된 마호-젠드 간섭계를 이용하여 하이브리드 마이크로 렌즈와 집적형 광 픽업을 능동 정렬 및 조립을 수행한 결과 블루레이(Blu-ray) 디스크 사양을 충분히 만족 시킬 수 있는 결과를 얻을 수 있었으며 이에 적합한 조립 프로세스(Process)를 확립하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 정보저장기기연구센터(R11-1997-042-11000-0)와 삼성종합기술원의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) C. Y. Yoon, E. H. Cho, J. S. Sohn, N. C. Park, Y. P. Park, 2004, "Evaluation of an Optical performance in Hybrid Micro Lens for Super Slim Optical pick-up", Korean Society of Precision Engineering
- (2) Wan-Chin Kim, Design and Fabrication of DOEs for Compensation of Chromatic Aberration with Grayscale Photo-lithography, Graduate Program in Information Storage Engineering, Yonsei University, 2003.
- (3) Sang-Hyuck Lee, 2003, "Design of an Integrated Optical Pickup with NA of 0.85 for Small Form Factor Optical Disk Drives", The Graduate School Yonsei University
- (4) Jin-Seung Sohn, 2005, "Design and Fabrication of Micro Lens Array for High Density Small Form Factor Optical Pickup", The Graduate School Yonsei University