

**Micro Fabricated Optical Pick-up 헤드 설계 및 제작**

김인회\*, 박광범, 정석원, 김건년, 문현찬, 박효덕  
전자부품연구원 마이크로머신연구센터

**The design and manufacturing of micro fabricated optical pick-up head**

I. H. Kim, K. B. Park, S. W. Jung, K. N. Kim, H. C. Moon, H. D. Park  
Korea Electronics Technology Institute, Micro-Machine Research Center

**Abstract** - 본 연구에서는 광 픽업의 소형, 경량 제작을 위해 MEMS 기술을 이용하여 planar micro optics 방법으로 광 픽업을 구성하는 micro lens, actuator, beamsplitter 등을 설계, 제작하고 집적화한 픽업헤드를 구성하여 그 특성을 분석하였다. 특성분석 결과 disk에 focusing 되는 beam의 형상은 circle type의 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었고 beam spot size는 약 22 $\mu$ m로 실제 system에서 요구되는 0.9 $\mu$ m이내의 beam spot size에 비해 약 25배 가량 큰 beam spot size를 얻을 수 있었다.

**1. 서 론**

광 픽업은 디스크면의 기록신호에 레이저 광선을 조사하여 반사광을 전기적 신호로 변환하는 부품으로 단위 시간내에 진행길이가 일정해야 하고 데이터 전송비율이 높고 access time은 자기 디스크 시스템과 비교하여 느리기 때문에 자기 디스크 시스템을 능가하는 access time 및 데이터의 focusing, tracking, retrieving을 하기 위해서는 소형, 경량으로 제작되어야 한다. 최근들어 마이크로 센서 및 3차원 미소 기계부품의 제작이 가능한 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 공정기술의 급속한 발전에 따라 기존의 광학계를 구성하고 있는 렌즈, 미러, 빔 splitter, wave plate 등의 개별 광학부품을 수직에서 수백 마이크로미터 크기로 제작하려는 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 또한 단일 기관 상에 레이저 다이오드, 렌즈, 미러, 빔 splitter, 광 다이오드 및 마이크로 구동기를 집적화하여 광 디스크 픽업헤드를 제작하려는 연구개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 본 연구에서는 광 픽업을 구성하는 광학계 및 구동기를 설계하고 MEMS 공정기술을 이용하여 제작한 후 집적화하여 특성분석을 수행하고자 하였다.

**2. Microlens의 설계 및 제작**

**2.1 Microlens의 설계**

현재 마이크로렌즈의 응용분야로서는 fiber coupler, flat panel display, detector array 등 다양한 분야에서 활용하기 위해 개발되고 있으며, 단일 렌즈로서 사용보다는 어레이 형태로 많은 응용 개발이 진행되고 있다. 마이크로렌즈 종류에는 크게 회절효과를 이용한 Fresnel형 마이크로렌즈와 전통적인 굴절형 마이크로렌즈로 분류할 수 있다. 회절형 마이크로렌즈의 경우 렌즈의 부피 및 무게를 최소화 할 수 있는 장점을 갖고 있으나 광학적 특성은 굴절형 마이크로렌즈가 더 우수한 특성을 갖는 것으로 알려져 있다. 굴절형 마이크로렌즈의 크기는 일반적으로 수십 um ~수백 um으로 제작되기 때문에 기존의 렌즈 가공 기술로는 제작이 거의 불가능하다. 따라서 이러한 마이크로렌즈를 제작하기 위해 본 연구에

서는 thermal reflow 방법을 이용하여 굴절형 마이크로렌즈를 설계제작하고 그 특성을 분석하였다.

굴절형 구형 마이크로렌즈(refractive spherical microlens)를 제작하기 위해 일반적인 포토리소그래피 공정과 함께 thermal reflow 방법을 이용하였다. Thermal reflow 방법을 이용한 마이크로렌즈의 제작은 임의의 기관 상에 액체가 놓이게 되면 액체 표면은 표면장력에 의해 구면을 이루려는 원리를 이용한 것이다.

먼저 thermal reflow 방법에 의해 제작되어지는 마이크로렌즈의 곡률 반경(R)과 두께(h)를 계산하기 위한 가정으로 표면장력에 의한 마이크로렌즈의 형태가 완전한 구면을 이루고 있으며, reflow 이전과 이후의 PR의 부피가 동일하다고 가정하면 reflow 이전의 원형 PR형상의 직경(r)과 두께(t)로부터 제작될 마이크로렌즈의 두께(h)와 곡률 반경(R)을 계산할 수 있다. 또한 사용된 PR의 굴절률(n)을 결정하면 마이크로렌즈의 back focal length도 얻을 수 있다.

**2.2 Microlens의 제작**

마이크로렌즈를 thermal reflow 방법으로 원활하게 제작하기 위해 사용된 재료는 헥스트사의 AZ 4000시리즈의 PR을 사용하였다. 스핀코팅 방법으로 투명 유리기판 상에 일정 두께로 PR을 코팅한 후 100 $^{\circ}$ C에서 soft baking을 하였으며 이후 포토리소그래피 공정을 이용하여 원형 PR 형상으로 현상하였다. 현상된 원형 PR은 마이크로렌즈 형태로 reflow가 이루어질 수 있도록 120 ~ 150 $^{\circ}$ C의 오븐 속에서 10분동안 post baking을 실시하였다.

그림 2는 thermal reflow에 의해 제작되어진 마이크로렌즈를 광학현미경 확대한 사진이며 마이크로렌즈의 크기는  $\varnothing$ 250 ~ 325 $\mu$ m 이다. 그림 2는  $\varnothing$ 250 $\mu$ m의 제작된 마이크로렌즈의 형상을 표면형상기(Surface profile meter)를 사용하여 측정된 결과와 측정 결과로부터 제작된 마이크로렌즈의 곡률 반경을 결정하기 위해서 앞서 마이크로렌즈 설계시 언급했던 마이크로렌즈의 표면 형태가 구면을 이루게 된다는 가정을 이용하여 curve-fitting 방법을 사용하여 data fitting을 한 결과를 나타낸 것이다. 렌즈 중심에서 측정값과 data fitting 값과의 차이는 1 $\mu$ m 이하로 나타났으며,  $\varnothing$ 250 $\mu$ m의 렌즈의 경우 렌즈의 곡률 반경이 455 $\mu$ m 값을 갖는 것을 알 수 있었다.

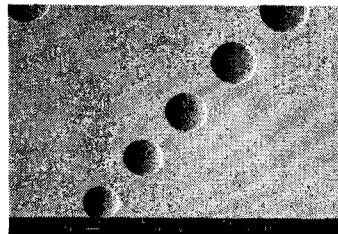


그림 1. 제작된 마이크로렌즈의 SEM 사진

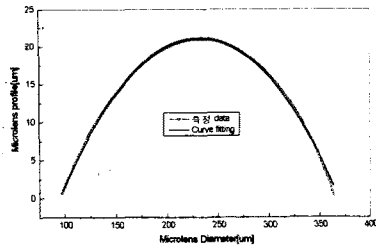


그림 2 microlens 형상 data fitting

### 3. Micro zone plate, mirror 및 actuator의 제작

#### 3.1 Micro zone plate 제작

마이크로 렌즈를 제작하기 위하여 사용된 MUMPs 공정은 3-layer polysilicon 표면미세가공공정기술로 1개의 전극 폴리인 poly0층, 2개의 구조물 폴리층인 poly1과 poly2층으로 구성되어 있다. 희생층으로는 산화막(PSG)이, 폴리실리콘과 기판의 전기적 절연층으로는 실리콘 질화막이 사용되었다.

마이크로 미러나 렌즈를 실리콘 기판 상에 세우기 위하여 마이크로 hinge와 latch를 제작하였다. 그림 3은 제작된 마이크로 렌즈의 희생층 식각 전의 광학 현미경 사진이다. 실리콘 기판 위에 희생층으로 2 $\mu$ m의 PSG(Phosphosilicate Glass)을 증착 한 후 렌즈 plate와 마이크로 hinge pin을 2 $\mu$ m 두께의 Poly1구조층으로 만들었다. 1.5 $\mu$ m 두께의 poly2 구조층으로 hinge와 스프링 latch를 제작하였다. 제작된 마이크로 광학부품을 release하기 위하여 PSG희생층을 49% HF용액으로 제거한 후 polysilicon layer간의 접착을 방지하기 위하여 IPA dipping을 하였다. 제작된 zone plate는 127 $\mu$ m의 직경과 650nm의 파장대역에서 500 $\mu$ m의 초점거리를 가진다.

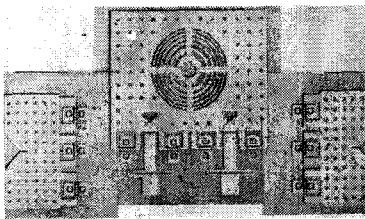


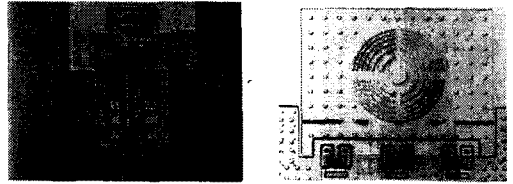
그림 3. 희생층 식각 전 마이크로 zone plate의 광학현미경 사진

#### 3.2 U자형 Hinge Micro Zone Plate 및 구동기 제작

마이크로 zone plate 렌즈를 구동시키기 위하여 SDA(Scratch Drive Actuator)가 연결된 sliding plate를 제작하였다. sliding plate 위에 렌즈 plate와 측면 지지대를 제작하고 U자형 마이크로 hinge를 이용하여 moving plate 위에 세울 수 있도록 하였다.

그림 4는 희생층을 식각하기 전의 렌즈 및 구동기의 광학현미경 사진을 나타낸 것이다. 제작 공정은 poly1 구조층으로 moving plate, U자형 hinge pin, 스프링과 anchor를 제작하고 poly2 구조층으로 마이크로 zone plate와 측면 지지대, SDA를 제작하였다.

SDA의 구동원리는 기판과 폴리실리콘 plate상에 형성된 정전력을 이용하여 전진하도록 만들어진 구동기이다. SDA는 정현파 전압의 인가에 의해 구동되며, 한 주기의 입력전압에 대하여 수 십nm정도의 이동거리 해상도를 가진다.

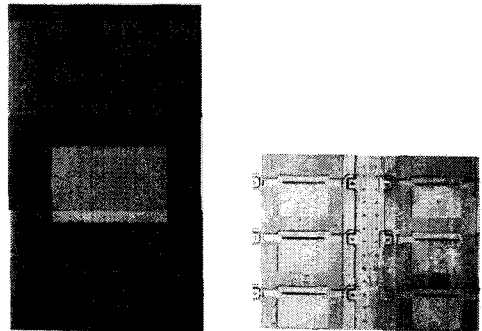


(a) 소자의 광학현미경사진 (b) 마이크로 zone plate  
그림 4. Zone plate 및 구동기의 광학현미경사진

#### 3.3 Self-assembly 45° 미러 제작

45° self-assembly 미러를 제작하기 위해서 미러 plate의 out-of-plane 동작이 가능하도록 hinge를 설계하고 SDA array를 이용하여 self-assembly가 가능하도록 하였다. 제작된 45° 미러는 미러로 사용될 gold가 증착된 plate, 이를 지지하는 한쪽 면이 hinge로 고정된 support와 미러와 연결되어 sliding plate를 이동시키는 SDA array로 구성되어 있다.

그림 5는 희생층 식각 전의 45° 미러와 SDA array의 광학 현미경사진을 나타낸 것이다. 그림 6은 희생층 식각 후의 45° 미러와 out-of-plane 동작이 가능하도록 제작된 hinge의 SEM사진이다.



(a) 마이크로 미러 (b) SDA array

그림 5. 희생층 식각 전의 self-assembled 45° 미러

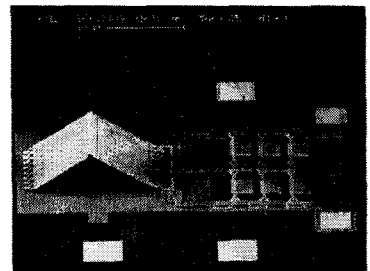


그림 6. 희생층 식각 후의 out-of-plane된 45° 미러의 SEM사진

#### 4. 특성평가

제작된 개별광학소자들은 무엇보다도 광학적 특성이 중요하게 된다. 본 실험에서는 광학적 특성평가를 위해 개별소자들에 대한 특성평가와 이들을 집적화 하였을때의 전체 system에 대한 광학적 특성평가를 시행하였다. 특성평가는 주로 광학 simulation tool을 이용하여 실제 제작된 소자들의 parameter들을 입력하여 simulation 하는 평가 방법을 이용하였다. 그림 7은 제작된 microlens의 특성평가 결과를 보여준다.

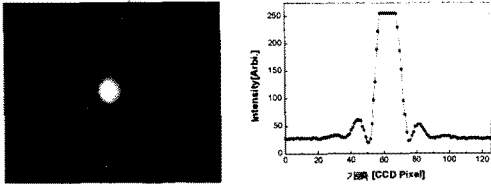


그림 7. 제작된 microlens의 광 특성평가 결과

그림 7의 결과는 632.8nm의 HeNe laser를 이용하여 CCD camera로 beam spot image를 capture한 결과로서 beam spot size는 약  $4.7\mu\text{m}$ 로 초기 설계치에 근접하는 결과를 얻을 수 있었다. 그림 8은 제작된 micro zone plate에 대한 ray trace, intensity 분포 simulation 결과를 보여준다.

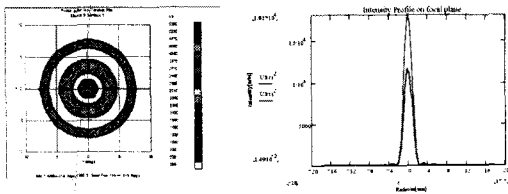


그림 8. 제작된 micro zone plate의 출사광 spot 분포 및 intensity 분포 결과

그림 8의 결과에서와 같이 제작된 micro zone plate는 회절로 인한 전형적인 띠 무늬 spot을 갖는 것을 볼 수 있다. 하지만 출사된 광의 출사효율은 입사광의 약 28.966% 정도로 효율면에서는 좋지 않은 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 낮은 효율은 micro fresnel lens의 제작을 통하여 향상시킬 수 있으리라 생각된다. 개별광학소자의 광 특성평가 결과 앞서의 결과와 같이 설계치와는 정확히 일치하지 않지만 크게 벗어나지 않는 광 특성 결과를 얻을 수 있었다. 이들 개별 micro 광학소자들을 이용하여 집적화해 광 픽업을 구성하게 되면 그림 9와 같은 pick-up system으로 집적화 된다.

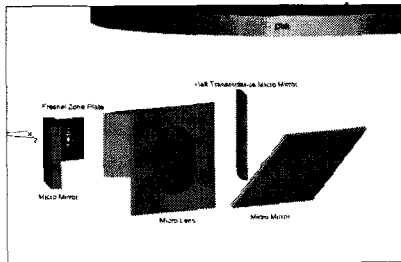


그림 9. Micro pick-up head 구성도

그림 9에서와 같이 micro pick-up head system은 beam을 collimation 시키기 위한 micro fresnel zone plate가 광원으로부터  $500\mu\text{m}$  되는 곳에 위치하고 그 뒤에 편광 beam splitter, micro mirror가 각각  $500, 700\mu\text{m}$ 되는 곳에 위치해 있다.

Disk에 beam을 focusing 시키기 위한 micro lens는 초점거리가 약  $1600\mu\text{m}$ 가 되는 렌즈를 사용하였고 beam을 disk로 반사시키기 위한 micro mirror로부터 약  $800\mu\text{m}$  떨어진 곳에 위치시켰다. 또한 disk에서 반사되어 오는 광의 검출을 위해 photodiode로 검출광을 보내기 위한 half transmittance micro mirror로 구성되어 있다. 이렇게 설계된 micro pick-up system에 disk에 focusing 되는 beam 분석을 위해 ray tracing을 시행하였고 결과는 그림 10과 같다.

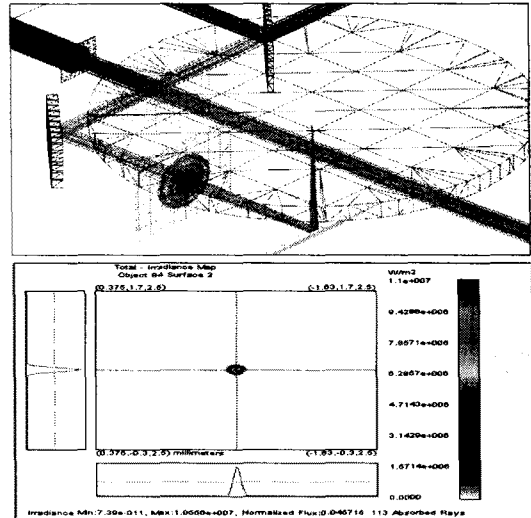


그림 10 Disk에 Focusing된 beam의 Irradiance Map

그림 10의 irradiance map 결과에서 보는바와 같이 disk에 focusing된 beam의 형상은 circle type의 비교적 좋은 결과를 보이고 있지만 spot size가 약  $22\mu\text{m}$ 로 실제 DVD system에서 요구되는  $0.9\mu\text{m}$  이내의 beam spot size에 비해서는 약 25배 가량 큰 것을 알 수 있었다.

#### 3. 결 론

광 픽업 헤드의 핵심부품인 마이크로 렌즈와 미러 및 이를 구동하기 위한 구동기를 제작하였고 이들 개별소자 및 집적화 하였을때의 광학적특성평가를 수행하였다. 광 특성평가 결과 beam spot size가 약  $22\mu\text{m}$ 로 만족스러운 특성결과를 얻지는 못하였고 특성평가 simulation 결과와 같이 개별 광학소자의 공정문제에 의한 수차제거가 용이하지 못하기 때문에 아직은 만족스러운 결과를 얻을 수 없지만 공정기술의 개발과 이를 위한 설계 기술이 계속 연구된다면 현재 DVD system에서 요구되는  $0.9\mu\text{m}$  이내의 beam spot size 사양을 만족할 수 있으리라 생각된다.

#### [참 고 문 헌]

1. Alan B. Marchant, " Optical Recording (technical overview) ", Addison-Wesley, pp. 99 - 225, 1996.