

표면 미세가공기술을 이용한 마이크로 광학소자 및 구동기의 제작

김건년, 박광범, 정석원, 이보나, 김인희, 문현찬, 박효덕, 신상모
전자부품연구원

Fabrication of Micro-optical Components and Actuators using Surface Micromachining

K. N. Kim, K. B. Park, S. W. Jung, B. N. Lee, I. H. Kim, H. C. Moon, H. D. Park, S. M. Shin
Korea Electronics Technology Institute

Abstract 3-layer polysilicon 표면미세가공공정을 이용하여 micro zone plate 렌즈와 미러 및 이를 구동하기 위한 구동기를 일체화시킨 마이크로 구동형 광학소자를 설계, 제작하였다. 650nm의 파장대역에서 초점거리가 500 μ m가 되도록 마이크로 zone plate 렌즈를 설계하였으며, 렌즈의 광학축은 실리콘 기판 상에서 121 μ m 거리에 위치하도록 제작하였다. 마이크로 hinge와 스프링 latch 및 측면지지 plate를 이용하여 마이크로 렌즈와 미러가 실리콘 기판상에서 out-of-plane 동작이 가능하도록 하였다. 마이크로렌즈 초점거리의 가변을 위하여 6개의 SDA(Scratch Drive Actuator) 어레이를 설계, 제작하였다. 또한 빔 반사를 위한 마이크로 미러를 설계하고 45° self-assembly를 위하여 마이크로 hinge와 SDA array를 제작하였다.

략적인 모양과 complex amplitude transmittance $f(x,y)$ 는 다음과 같다. 여기에서 complex amplitude transmittance란 optical field를 복소수 형태로 나타내었을 때, plate를 지난 직후의 field와 입사되는 field의 비율을 뜻한다. 또한, x, y 는 그림 1에 나타난 바와 같이 plate 상의 좌표를 뜻한다.

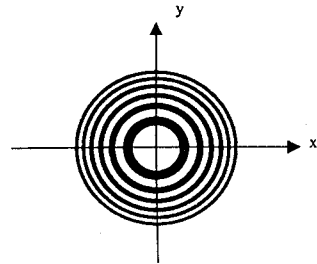


그림 1. Fresnel zone plate

그림 1에서 검은색 원형 고리 부분은 빛이 투과되지 않는 막힌 부분이고 흰색 원형 고리 부분은 빛이 투과되는 뚫린 부분이다.

$$f(x,y) = 1, \quad \text{for } \cos\left(\pi \frac{x^2 + y^2}{\lambda f}\right) > 0 \quad \text{--- (1)}$$

$$f(x,y) = 0, \quad \text{otherwise}$$

Fresnel zone plate의 complex amplitude transmittance를 harmonic analysis를 통해서 Fourier series로 전개한 후, 그림 1에서 각 원의 반지름을 $r_m (= (x^2 + y^2)^{1/2})$ 이라 하면 Fourier series 전개식으로부터 zone plate의 각 동심원의 반지름을 아래식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\pi \frac{x^2 + y^2}{\lambda f} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\pi, \quad m=0,1,2,\dots \quad \text{--- (2)}$$

초점거리가 500 μ m, 빛의 파장 650nm일 때를 적용시켜 각 구간의 반지름을 구하여 설계하였다. 그림 2는 초점거리 500 μ m, 빛의 파장 650nm인 경우의 zone plate에 의한 초점면에서의 intensity 분포계산 결과이다.

1. 서 론

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 수십에서 수백 마이크로미터 크기로 제작하려는 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 또한 최근에는 단일 기판상에 레이저 다이오드, 렌즈, 미러, 빔 splitter, 광 다이오드 및 마이크로 구동기를 집적화하여 광 디스크 픽업헤드를 제작하려는 연구개발에 대한 관심이 고조되고 있다. [1], [2] 실리콘 기판 상에 마이크로 렌즈와 미러 등 마이크로 광학소자를 마이크로 구동기로 정밀 제어함으로써 광의 focusing 및 tracking 제어를 개선하고 access 시간을 현저히 줄일 수 있으며, 패키징 및 조립비용을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 기존의 코일을 이용한 초점제어방식의 구동기의 단점인 제작 정밀도와 제조단가의 상승, access time 등을 줄이기 위해서 미세 구동을 위한 마이크로 구동기를 집적화하기 위한 연구가 큰 관심을 끌고 있다.

본 연구에서는 3-layer polysilicon 공정을 이용하여 마이크로 광학계를 구성하는 기본 광학부품으로 Fresnel zone plate 형태의 마이크로 렌즈와 미러 및 이를 구동하기 위한 구동기를 일체화시킨 마이크로 구동형 광학소자를 제작하고자 하였다.

2. Micro Zone Plate의 제작

2.1 Micro Zone Plate 렌즈의 설계

마이크로 zone plate는 일반 굴절렌즈보다는 많은 단점들을 갖고 있으나 제조의 간편성 및 렌즈의 소형화 등의 장점을 갖기 때문에 본 연구에서는 zone plate를 이용한 렌즈를 설계하였다. Fresnel zone plate의 대

2.2 Micro Zone Plate 렌즈의 제조 공정

마이크로 렌즈를 제작하기 위하여 사용된 MUMPs 공정은 3-layer polysilicon 표면미세가공공정기술로 1개의 전극 폴리인 poly0층, 2개의 구조물 폴리층인 poly1과 poly2층으로 구성되어 있다. 희생층으로는 산

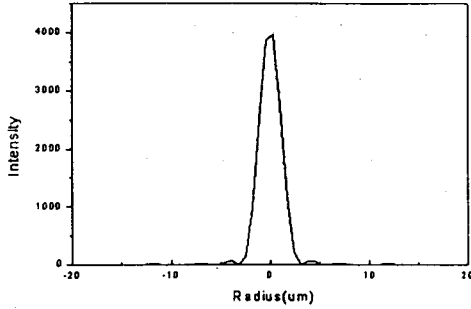


그림 2. Zone plate에 의한 초점 면에서의 intensity 분포

화막(PSG)이, 폴리실리콘과 기판의 전기적 절연층으로 실리콘 질화막이 사용되었다. [3] 그림 3은 사용된 공정의 개략도를 나타낸 단면도이다.

마이크로 미러나 렌즈를 실리콘 기판 상에 세우기 위하여 마이크로 hinge와 latch를 제작하였다. 그림 4는 제작된 마이크로 렌즈의 회생층 식각 전의 광학 현미경 사진이다. 실리콘 기판 위에 회생층으로 2 μ m의 PSG(Phosphosilicate Glass)을 증착 한 후 렌즈 zone plate와 마이크로 hinge pin을 2 μ m 두께의 Poly1구조층으로 만들었다. 1.5 μ m 두께의 poly2 구조층으로 hinge와 스프링 latch를 제작하였다. 제작된 마이크로 광학부품을 release하기 위하여 PSG회생층을 49% HF용액으로 제거한 후 polysilicon layer간의 점착을 방지하기 위하여 IPA dipping을 하였다. 제작된 zone plate는 127 μ m의 직경과 650nm의 파장대역에서 500 μ m의 초점거리를 가진다. 추후에, 650nm 파장의 LD와 광학축을 정렬하기 위하여 실리콘 기판 상에서 121 μ m의 광학축을 가지도록 제작하였다.

그림 5는 회생층 식각 후 hinge의 SEM 사진을 나타낸 것이다.

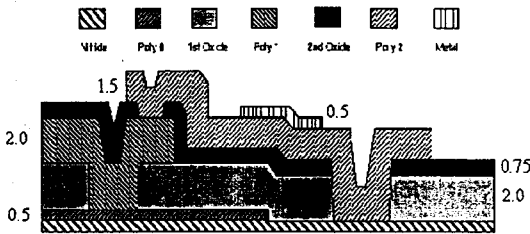


그림 3. MUMPs의 전체 공정 단면도

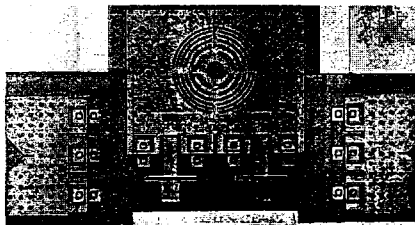


그림 4. 회생층 식각 전 마이크로 zone plate의 광학현미경 사진

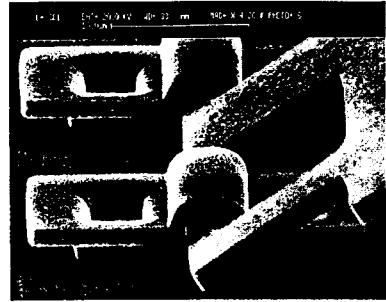


그림 5. 회생층 식각 후 마이크로 hinge의 SEM 사진

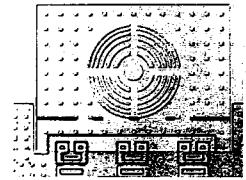
3. 마이크로 구동기가 집적화된 마이크로 광학소자의 제작

3.1 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 zone plate와 측면 지지대를 제작하고 U자형 마이크로 hinge를 이용하여 moving plate 위에 세울 수 있도록 하였다.

그림 6은 회생층을 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.

그림 7은 release후의 U자형 hinge의 SEM사진이다. 그림 8은 회생층 식각 후의 SDA의 SEM사진이다. SDA의 구동원리는 기판과 폴리실리콘 plate상에 형성된 정전력을 이용하여 전진하도록 만들어진 구동기이다. [4] SDA는 정현파 전압의 인가에 의해 구동되며, 한 주기의 입력전압에 대하여 수 십nm정도의 이동거리 해상도를 가진다.



(a) 소자의 광학현미경사진 (b) 마이크로 zone plate 그림 6. Zone plate 및 구동기의 광학현미경사진

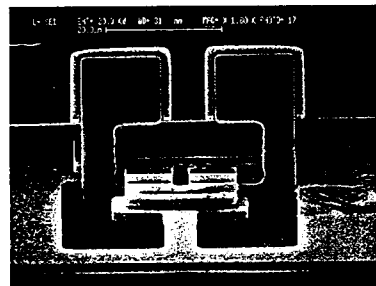


그림 7. Out-of-plane된 U자형 hinge SEM사진

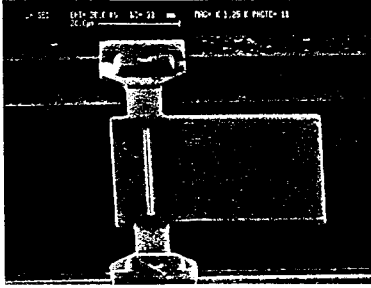
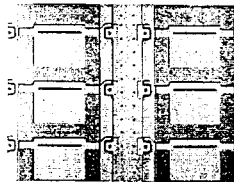


그림 8. 희생층 식각 후 SDA의 SEM사진

3.2 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.

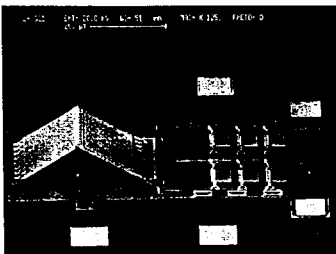
그림 9는 희생층 식각 전의 45° 미러와 SDA array의 광학 현미경사진을 나타낸 것이다. 그림 10은 희생층 식각 후의 45° 미러와 out-of-plane 동작이 가능하도록 제작된 hinge의 SEM사진이다.



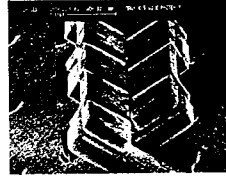
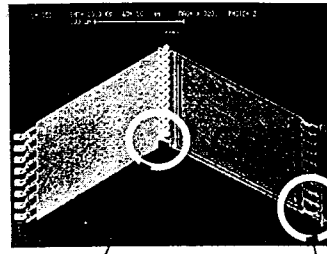
(a) 마이크로 미러

(b) SDA array

그림 9. 희생층 식각 전의 self-assembly 45° 미러



(a) 희생층 식각 후의 out-of-plane된 45° 미러의 SEM사진



(b) 미러의 hinge 위치별 SEM사진

그림 10. 희생층 식각 후 45° 미러의 SEM사진

4. 결 론

광 픽업 헤드의 핵심부품인 마이크로 렌즈와 미러 및 이를 구동하기 위한 구동기를 3-layer polysilicon공정을 이용하여 제작하였다. 제작된 zone plate는 650nm의 파장대역에서 초점거리가 500 μ m가 되도록 설계되었으며, 마이크로 hinge를 이용하여 out-of-plane 동작이 가능함을 확인하였다. 마이크로 렌즈의 초점거리 가변을 위하여 zone plate와 moving plate를 U자형 hinge를 이용하여 연결하고 SDA array를 일체화시켰다. 빔 반사를 위한 45° 미러를 제작하였고, self-assembly와 out-of-plane이 가능하도록 설계된 SDA array와 hinge를 이용하여 self-assembly가 가능함을 확인하였다. 향후 제작된 소자의 특성평가를 수행할 예정이며, 본 연구에서 제작된 마이크로 광학소자와 마이크로 구동기는 광 픽업헤드, optical scanner 등에 핵심 기술로 응용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정통부 정보통신 선도기반기술개발사업에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

(참 고 문 헌)

- [1] L. Y. Lin et al., "Micro-machined three-dimensional micro-optics for integrated free-space optical system", IEEE Photon. Technol. Lett., vol.6, pp.1445-1447, 1994
- [2] L. Y. Lin et al., "Realization of novel monolithic free-space optical disk pickup heads by surface micromachining", Optics Letters, vol.21, No.2, pp. 155-157, 1996
- [3] D. A. Koester et al., MUMPs Design Handbook, 1999
- [4] T. Akiyama, K. Shono, "A new step motion of poly-Si microstructure", Proc. of the IEEE workshop on MEMS, Florida, pp.272-277, 1993