

다중 광 프로브 특성 향상을 위한 비구면 마이크로렌즈 어레이의 개발

민중희¹, 김홍민², 최민석¹, 김병욱¹, 강신일[#]

Development of Aspheric Microlens Array to Improve the Properties of Multi Optical Probes

J. Min, H. Kim, M. Choi, B. Kim, S. Kang

Abstract

An aspheric microlens array to improve the properties of multi optical probes was designed and fabricated. To generate multi optical probes with good qualities, a microlens array with the minimum spherical aberration was designed by ray tracing. Using the reflow process, a master pattern of aspheric microlens array was made and finally with the ultraviolet-imprinting (UV-imprinting) method, the aspheric microlens array was replicated. The reflow condition was optimized to realize the master pattern of the microlens array with the designed aspheric shape. The intensity distribution of the optical probes at the focal plane showed a diffraction-limited shape.

Key Words : aspheric microlens array, optical probes, reflow process, UV-imprinting method

1. 서 론

최근 초소형 정보저장기기의 수요와 정보 처리량의 증가에 따라 플래쉬 메모리, 마이크로 드라이브, 초소형 광 정보저장기기 등 다양한 형태의 차세대 정보저장기기가 개발되고 있으며, 이 중 Philips Research에서 제안한 신개념 휴대형 정보저장시스템인 optical ROM(Read-Only-Memory) card 시스템은 디스크 회전에 의한 성능 저하 우려가 없으며, 높은 내충격성을 갖는다는 점에서 매우 각광받고 있는 시스템이다[1]. Optical ROM card 시스템은 광 프로브(optical probe)를 생성하기 위한 광학 헤드 유닛, 위치 제어 스테이지, 사각형 카드 형태의 저장 매체 및 이미지 센서(CCD 혹은 CMOS) 이렇게 네 가지를 기본 구성 요소로 한다. 이 가운데 광학 헤드 유닛은 탈봇 효과(Talbot

effect)에 의해 2차원 광 프로브를 생성하기 위한 단색 레이저 다이오드와 2차원 개구어레이(aperture array)로 구성되어 있으며, 본 연구실은 이에 관한 연구를 지속해왔다[2-5]. Optical ROM card 시스템의 성능향상을 위해서는 무엇보다도 기록밀도를 결정하는 광 프로브의 spot 크기를 작게 만드는 것이 중요하며, 이전 연구에서 제안된 마이크로렌즈 일체형 개구어레이는 광학적 노이즈 감소와 광 프로브의 spot 사이즈 축소를 가능케 하였다. 이와 같이 생성된 작은 사이즈의 spot은 optical ROM card 시스템 외에 쓰기가 가능한 정보저장시스템에도 적용이 가능하며, 차세대 나노리소그래피(lithography)의 한 방법으로도 주목을 받고 있다[6].

본 연구에서는 광 프로브의 광학적 성능 향상을 위한 비구면 마이크로렌즈 어레이를 제안하고

1. 연세대학교 일반대학원 기계공학과
2. 연세대학교 나노마이크로 응용기계기술 인력양성사업단
교신저자: 연세대학교 기계공학부,
E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

설계/제작하였다. 비구면 렌즈는 구면 수차(spherical aberration)를 최소화하는 형상을 갖도록 설계하고, 렌즈의 마스터 패턴을 리플로우 공정을 통해 포토 레지스트로 제작하였으며, UV 임프린팅 방식으로 마이크로렌즈 어레이를 복제하였다. 최종적으로 복제된 비구면 마이크로렌즈는 구면 마이크로렌즈와의 광학 성능 비교를 통해 그 우수성을 확인하였다.

2. 비구면 마이크로렌즈 설계

2.1 마이크로렌즈 형상 제어

마이크로렌즈의 형상은 리플로우 공정을 통해 얻어진 마스터 패턴에 의해 결정된다. 따라서 UV 임프린팅 공정을 위한 마스터 패턴으로 리플로우 렌즈를 사용하기 위해서는, 리플로우 공정조건 변화에 따른 마이크로렌즈의 형상 변화를 먼저 실험적으로 확인하는 것이 중요하다. 리플로우 공정상 가장 중요한 변수는 가열 온도와 시간이므로, 이를 다양하게 바꿔주면서 마이크로렌즈 형상의 변화를 확인할 수 있다.

리플로우 공정을 통해 얻어지는 마이크로렌즈의 형상은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$z(r) = H - \frac{r^2/R}{1 + \sqrt{1 - (1+k)r^2/R^2}} - Ar^4 - Br^6 - \dots$$

여기서 R은 렌즈 중앙의 곡률 반경, H는 렌즈의 높이(sag height), k는 코닉 상수(conic constant), A와 B는 비구면 계수이며, r은 마이크로렌즈 중앙에서부터의 거리이다.

2.2 마이크로렌즈 설계 및 시뮬레이션

다중 광 프로브 구현을 위한 비구면 마이크로렌즈 어레이 상의 렌즈 피치(pitch)는 36 μm 으로 선택하였다. 비구면 마이크로렌즈의 개구수(NA, numerical aperture)는 0.6이며, 사용된 광원의 파장은 405nm이다. 비구면 마이크로렌즈 어레이의 형상은 광선 추적(ray tracing) 기법을 이용하여 구면 수차를 최소화할 수 있는 설계로 최적화시켰다. Figure 1은 최종 설계된 비구면 마이크로렌즈의 형상을 보여준다. 곡률 반경(R)은 15.76 μm 이고, 코닉 상수(k)는 -0.4224이다. 이외에 본 연구에서 비구면 계수(A, B)는 이용하지 않았으며, 최종적으로 다음과 같은 렌즈 형상 수식을 얻을 수 있었다.

$$z(r) = 0.011711 - \frac{r^2/0.01576}{1 + \sqrt{1 - (1 - 0.4224)r^2/0.01576^2}}$$

위 수식에서 모든 단위는 밀리미터이다. 비구면 마이크로렌즈 제작에 쓰인 재료의 굴절률은 405nm 파장대에서 1.54이며, 렌즈의 너비는 34 μm 이다. 따라서 비구면 마이크로렌즈의 초점거리는 약 44 μm 이다. 또한 비구면 렌즈와의 비교를 위해 구면 마이크로렌즈를 제작하였는데, 비구면 렌즈와 같은 개구수(0.6)와 크기(34 μm)에서는 곡률 반경이 15.76 μm 을 만족할 수 없으므로, 제안된 비구면 마이크로렌즈와 같은 렌즈 높이와 크기의 구면 마이크로렌즈를 비교하기 위해서 구면 마이크로렌즈의 개구수는 0.52로 결정하였다.

Figure 2는 시뮬레이션으로 얻은 비구면 마이크로렌즈와 구면 마이크로렌즈의 초점 평면에서의 광세기 분포(light intensity distribution)를 보여주고 있다. 비구면 마이크로렌즈의 경우에는 FWHM (full-width-half-maximum) 세기가 나타나는 지점의 직경은 0.3 μm 으로 회절 한계값(diffraction-limited value)을 나타내고 있으며, 이에 반해 구면 마이크로렌즈의 경우에는 FWHM 세기가 나타나는 지점의 직경이 0.55 μm 으로 회절 한계에 못 미치는 모습을 보여준다.

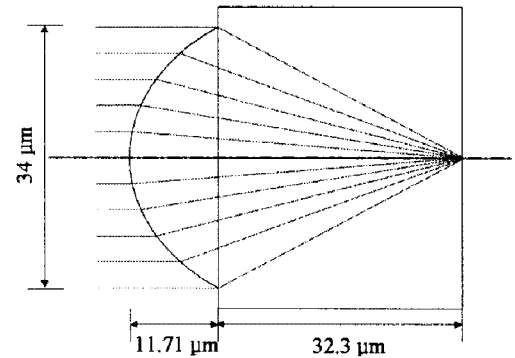


Fig. 1 The shape of the designed aspheric microlens with a diameter of 34 μm , a focal length of 44 μm and a numerical aperture of 0.6

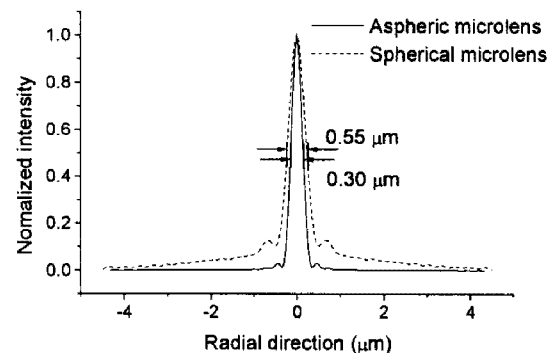


Fig. 2 The normalized intensity distribution at the focal plane of the designed aspheric microlens (solid line) and spherical microlens with same sag height and size (dashed line) by simulation

3. 비구면 마이크로렌즈 어레이 제작

이와 같이 설계한 비구면 마이크로렌즈의 마스터 패턴 제작을 위한 리플로우 공정의 조건은 다음과 같이 결정하였다. 우선 초기 포토레지스트의 높이는 $8\mu\text{m}$ 이고, 리플로우 공정 상의 가열 온도와 시간은 각각 170°C 와 90s 로 하였다. 비구면 마이크로렌즈 제작 시 모든 공정은 항온(21°C), 항습(60%)이 유지되는 크린룸에서 진행하였다. 이렇게 제작된 비구면 마이크로렌즈 어레이의 마스터 패턴 SEM 사진은 Figure 3와 같다. Figure 4(a)에서는 설계 상의 비구면 형상과 실제 제작된 마스터 패턴의 표면 형상을 비교하여 보여주고 있다. 설계 형상과 실제 측정된 형상 간의 편차를 보여주는 Figure 4(b)에서 최대값과 최소값의 차이는 약 $0.2\mu\text{m}$ 임을 알 수 있다.

최종적으로 실제 비구면 마이크로렌즈 어레이의 제작을 위해 본 연구에서는 유리 기판 상에 UV 임프린팅 공정을 수행하였다. UV 임프린팅 공정은 기하학적, 광학적으로 우수한 소자를 원하는 기판 상에 올리는 데 유용한 공정이다[7-9]. Figure 5는 본 연구에 사용된 UV 임프린팅 시스템의 사진으로서, 자외선 광원부, 정렬 공정을 위한 정밀 스테이지와 현미경, 유압을 이용한 가압부 등으로 구성되어 있다. 리플로우 공정으로 제작한 마스터 패턴을 이용하여 비구면 마이크로렌즈 어레이의 음각 형태를 갖는 자외선 투과형 몰드를 제작하였으며, 이를 이용하여 UV 임프린팅 방식으로 비구면 마이크로렌즈 어레이를 유리 기판 상에 복제할 수 있었다.

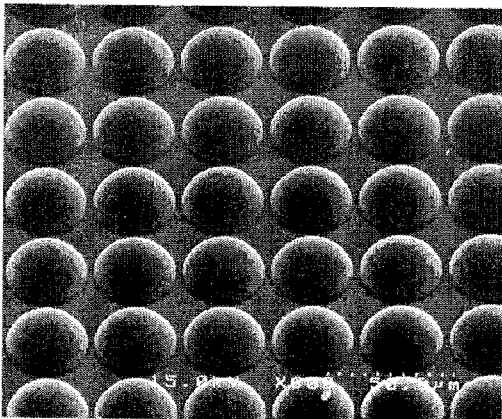
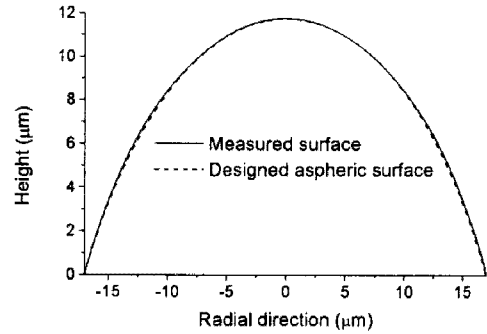
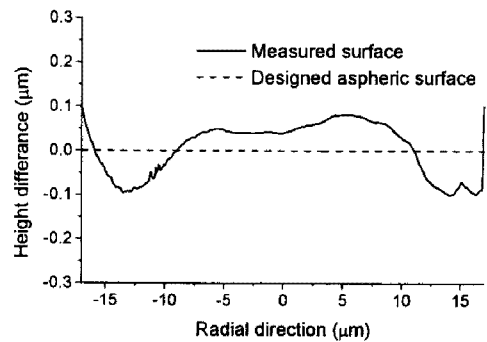


Fig. 3 SEM image of the master pattern of the aspheric microlens array



(a)



(b)

Fig. 4 (a) the surface profiles of aspheric microlens array in the master pattern and (b) the deviation of the surface profiles between the designed aspheric shape (solid line) and measured shape (dashed line).

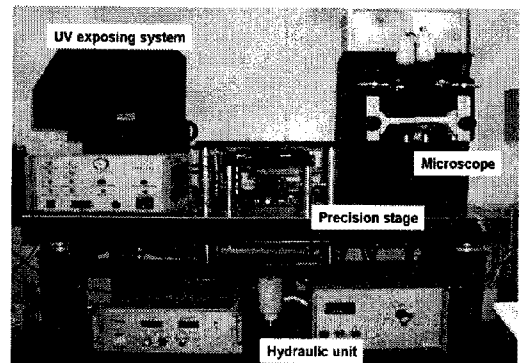


Fig. 5 Image of UV imprinting system

4. 다중 광 프로브의 광학적 특성

최종 제작된 마이크로렌즈 어레이를 적용한 다중 광 프로브의 광학적 특성을 확인하기 위하여 초점 평면(focal plane)에서 생성된 광 프로브를 CCD(charge-coupled-device) 이미지 센서를 이용하여 분석하였다.

후 기

이 논문은 2007 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R0A-2004-000-10368-0).

참 고 문 헌

- [1] T. Hoog, A. Kastelijn, R. Hendrics, R. Verberne, C. Busch, 2005, Optical Read-Only-Memory Card System Based on the Talbot Effect, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, pp.3645-3648
- [2] 강신일, 김석민, 김홍민, 이지승, 임지석, C. Busch, 2006, Optical Card 시스템에서의 마이크로렌즈 조사광프로브 어레이 설계 및 제작, 정보저장시스템학회 논문집, 제2권 제1호, pp. 1-6
- [3] 김홍민, 임지석, 김석민, 한정원, 강신일, 2006, 나노 광 프로브 어레이 구현을 위한 광학 헤드 유닛 개발, 한국소성가공학회지, 제15권 제 1호, pp. 21-26
- [4] S. Kim, H. Kim, J. Lim, S. Kang, Y. J. Kim, R. Hendriks, A. Kastelijn, C. Busch, 2006, Elimination of Jitter in Microlens illuminated Optical Probe Array Using a Filtering Layer for the Optical Read Only Memory Card System, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 45, pp. 1162-1166
- [5] Hongmin Kim, Jeseung Lee, Jiseok Lim, Seok-Min Kim and Shinill Kang, 2006, Design of microlens illuminated aperture array fabricated by aligned ultraviolet imprinting process for optical read only memory card system, *Appl. Phys. Lett.* Vol. 88, No. 22, pp. 241114-24116
- [6] D. Gil, R. Menon, H. I. Smith, 2004, The Promise of Diffractive Optics in Maskless Lithography, *Microelec. Eng.*, Vol. 73-74, pp. 35-41
- [7] P. Dannberg, R. Bierbaum, L. Erdmann and A. Brauer, 1999, Wafer scale integration of micro-optic and optoelectronic elements by polymer UV reaction molding, *Proc. SPIE*, Vol. 3631, pp. 244-251
- [8] S. Kang, 2004, Replication Technology for Micro/Nano Optical Components, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 43. pp. 5706-5716
- [9] P. Dannberg, G. Mann, L. Wagner, A. Brauer, 2000, Polymer UV-molding for micro-optical systems and O/E-integration, *Proc. SPIE*, Vol. 4179, pp. 137-145

Figure 6는 측정된 광 프로브 한 개에 대한 광 세기를 2차원 그래프 상에 보여주고 있다. 측정된 FWHM 세기에서의 직경은 $0.46\mu\text{m}$ 으로 시뮬레이션으로 구한 값($0.30\mu\text{m}$)보다 약간 크게 나타남을 알 수 있다. 이러한 시뮬레이션 값과 실제 값을 차이는 제작된 마이크로렌즈 어레이의 실제 표면 형상과 설계 형상의 편차에서 기인한 것으로 보인다. 또한 광 프로브가 초점 평면에서부터 생성된 후부터는 공기 중을 지나가므로 렌즈 재료와 공기의 굴절률의 차이에 의해서도 오차가 발생하였을 것으로 예상된다. 그러나 측정된 광 프로브의 세기 분포 그래프는 시뮬레이션 상으로 얻은 그래프와 같이 광학적 노이즈도 전혀 없고, 회절 현상이 나타나지 않는 우수한 광 특성을 보여주고 있다.

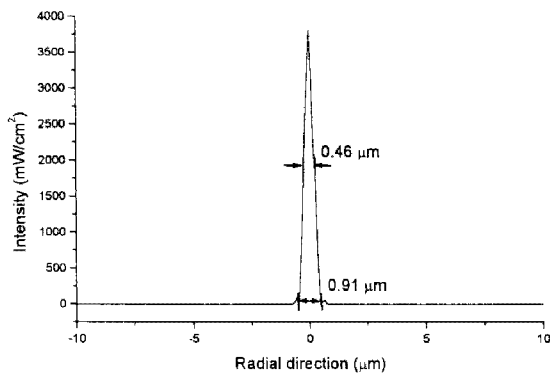


Fig. 6 The intensity distribution of the Talbot array from the fabricated microlens array

5. 결 론

본 연구에서는 다중 광 프로브의 특성 향상을 위한 비구면 마이크로렌즈 어레이를 설계하고 제작하였다. 비구면 마이크로렌즈 어레이의 마스터 패턴은 포토리소그래피 공정과 리플로우 공정을 통해 제작하였으며, UV 임프린팅 공정을 이용하여 최종 비구면 마이크로렌즈 어레이를 복제하였다. 비구면 마이크로렌즈 어레이는 마이크로렌즈의 초점 평면 상의 구면 수차를 최소화하는 형상으로 설계하였으며, 비구면 마이크로렌즈 어레이의 형상 제어를 위해 리플로우 공정의 조건들은 가열 온도 170°C 와 가열 시간 90s로 최적화하였다. 제작된 비구면 마이크로렌즈는 구면 마이크로렌즈 어레이와의 광 세기 분포 그래프 비교를 통해 광 프로브의 광학적 특성을 크게 향상시켰으며, 회절 한계의 형상(diffraction-limited shape)을 보여 줄 수 있었다.