

# Optical Card 시스템에서의 마이크로렌즈 조사 광프로브 어레이 설계 및 제작

## Design and Fabrication of Microlens Illuminated Aperture Array for Optical ROM Card System

강신일<sup>†</sup>, 김석민\*, 김홍민\*, 이지승\*, 임지석\*, Christopher Busch\*\*  
Shinill Kang<sup>†</sup>, Seok-Min Kim\*, Hong-Min Kim\*, Jee-Seung Lee\*,  
Ji-Seok Lim\* and Christopher Busch\*\*

### Abstract

An optical ROM card system which using an optical probe array generated by Talbot effect was proposed as new robust storage solution. To improve the optical density and to decrease the power consumption of the system, it is very important to make the spot sizes of optical probes smaller as well as to increase the optical efficiency from the light source to optical probes. In this study, a microlens illuminated aperture array for generating high efficiency optical probe array with small beam spot was designed and fabricated using monolithic lithography integration method. The maximum intensity of optical probes of microlens illuminated aperture array increased about 12 times of that of aperture array, and the full width half maximum of the optical probe at Talbot plane generated by microlens illuminated aperture array was  $0.77\mu\text{m}$ .

**Key Words :** Optical memories, Optical ROM card system, Microlens array, Optical probes

### 1. 서 론

휴대형 정보저장기기의 수요 및 처리 데이터량의 증가에 따라 플래쉬 메모리, 초소형 광 정보저장기기, 마이크로 드라이브 등과 같은 다양한 형태의 차세대 휴대형 정보저장시스템이 개발되고 있다. Philips Research에서는 ISOM 2004에서 신개념 차세대 휴대형 정보저장 시스템인 optical ROM card 시스템을 제안하였다[1]. Optical ROM card 시스템은 광 정보저장기기와 같이 복제 가능한 미디어를 사용함으로써 높은 배포성을 갖으며 반도체 정보저장기기와 같이 구동부가 존재하지 않아 높은 내 충격성을 갖는 장점이 있다. Optical ROM card 시스템은 그림 1 과 같이 광원과 개구어레이,

미디어, Photo detector 어레이로 구성된다. 각각의 bit 정보는 미디어상의 빛의 투과도 차이의 형태로 기록되어 있으며, bit 정보의 검출은 Talbot effect 에 의해 형성되는 광 프로브 어레이를 각각의 bit 정보 위치에 조사하여 투과된 빛을 photo detector 에서 검출하는 방법을 이용한다. 이러한 검출 원리는 대량의 광 프로브 어레이와 photo detector 어레이를 사용함으로써 데이터 전송속도 향상효과를 갖는다. Optical ROM card 시스템에서 미디어는 각각의 photo detector 와 1:1 로 대응되는 macro cell 영역으로 나뉘며, 각각의 macro cell 상에 광 프로브 어레이가 대응된다. Macro cell 상의 bit 정보는 그림 2 와 같이 광 프로브 어레이를 스캔하는 방식으로 검출 가능하다.

Optical ROM card 시스템에서는 기록밀도 향상 및 소비전력 감소를 위해 작은 광 프로브의 spot 크기 구현과 높은 광효율 구현이 요구된다. 기존의 광 프로브 재생 시스템은 개구어레이를 이용한 것으로 재생 시스템의 효율성 측면에서 많은 단점을 갖는다. 본 연구에서는 optical ROM card 시스템의 광 프로브 재생 시스템에 있어 작

<sup>†</sup> 연세대학교 기계공학부  
E-mail : snlkang@yonsei.ac.kr  
TEL : (02)2123-2829 FAX : (02)362-2736  
\* 연세대학교 기계공학부  
\*\* Philips Research, The Netherlands  
논문접수일 (2005년 4월 3일)

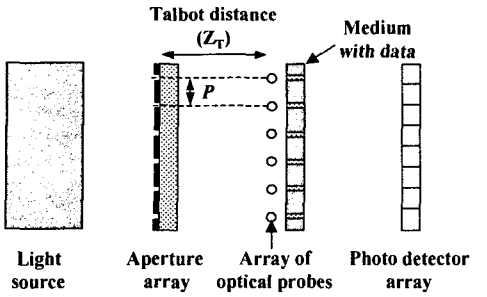


Fig. 1 Concept of optical ROM card system

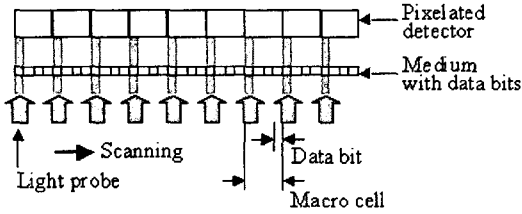


Fig. 2 Principle of macro-cell scanning

은 spot 직경 크기와 높은 광효율을 구현할수 있는 마이크로렌즈 일체형 개구어레이를 제안하고 설계/제작하였다. 또한 마이크로 렌즈 일체형 개구어레이를 통해 재생된 광 프로브 어레이를 기존의 개구어레이에 의한 광 프로브 어레이와 비교 평가함으로써 마이크로렌즈 일체형 개구어레이의 유용성을 평가하였다.

## 2. 마이크로렌즈 일체형 개구어레이 설계

단파장의 빛이 개구어레이를 통과하게 되면 개구어레이로부터 일정한 거리 이후 마다 개구어레이와 동일한 주기를 갖는 광 프로브 어레이가 형성된다. 이러한 원리를 Talbot effect 라 부르며 최초 광 프로브 어레이가 형성되는 거리를 Talbot 거리라 부른다[2]. Talbot 거리는 식 (1)과 같이 결정되며,  $p$  는 개구어레이와 광 프로브의 주기,  $\lambda$  는 조사된 빛의 파장,  $Z_T$  는 Talbot 거리를 나타낸다.

$$Z_T = \frac{2p^2}{\lambda} \quad (1)$$

Talbot effect 에 의해 형성되는 광 프로브 어레이의 특성은 개구어레이를 통과하는 빔의 에너지와 직경에 의해 결정된다. 개구어레이를 통과하는 빔의 직경이 작을수록, 빔의 에너지가 클수록 더 작고 높은 광량의 광 프로브 어레이 재생이 가능하다. 본 연구에서는 Talbot effect 에 의해 생성되는

광 프로브의 spot 직경을 작게 함과 동시에 높은 광효율을 구현하기 위해 마이크로렌즈 일체형 개구어레이를 그림 3 과 같이 제안하였다. 이는 개구어레이상에 마이크로렌즈 어레이를 집적함으로써 각각의 광 프로브 어레이 재생 효율을 증가시키는 효과를 구현하며, 마이크로렌즈 어레이에 의해 형성되는 spot 의 직경을 개구어레이의 직경보다 작게 함으로써 광 프로브의 spot 직경 감소를 가능케 한다. 광 프로브의 spot 크기를 작게 하기 위해서는 고 개구율의 마이크로렌즈 설계가 유용하며, 이 경우 렌즈와 개구의 정렬오차에 대한 대응면에서도 유리한 결과를 보여준다. 그러나 일반적으로 spot 의 크기는 그림 4 와 같이 초점면에서 이동할수록 커지는 현상을 갖으며 고 개구율 렌즈의 경우 이러한 현상이 더욱 심하게 발생하므로 렌즈 기관 두께 변화에 많은 영향을 받게 된다. 따라서 제작상 발생가능한 렌즈 하부 층의 두께 오차 및 렌즈와 개구의 정렬 오차를 고려한 공차 설계를 통한 최적 렌즈 형상 설계가 수행되어야 한다.

높은 광효율 및 Talbot 면에서의 작은 광프로브 spot 크기, 적절한 제작공차를 구현할 수 있는 마이크로렌즈 어레이를 설계하기위해 본 연구에서는 회절이론을 이용한 자체 코드를 사용하여 해석을 수행하였다.

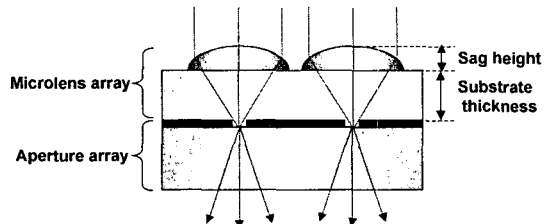


Fig. 3 Schematic of microlens illuminated aperture array

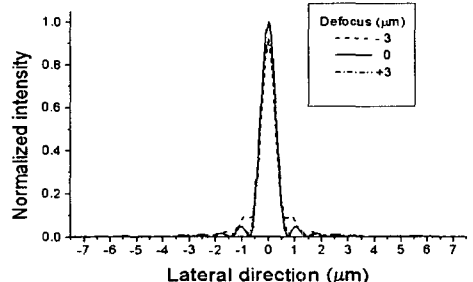


Fig. 4 Simulated beam intensity profiles near focal plane of microlens: solid line at on focus, dashed line at  $-3\mu\text{m}$  defocus and dashed dot line at  $+3\mu\text{m}$  defocus.



3.2 Monolithic lithography integration 공정을 이용한 마이크로렌즈 집적

마이크로렌즈 일체형 개구어레이의 제작을 위해 앞서 제작된 개구어레이상에 마이크로렌즈 어레이를 집적하는 공정이 요구된다. 마이크로렌즈 어레이를 개구어레이 상에 정렬 집적하는 방법으로는 복제 공정으로 기 제작된 단품 마이크로렌즈 어레이를 접착제를 이용하여 개구어레이 상에 정렬 접합하는 방법과, 포토 레지스트 리플로우방법, miro drop let 을 이용하는 방법, monolithic lithography integration 방법등이 있다[3-6]. 이러한 방법중 monolithic lithography integration 방법은 개구어레이 상에 마이크로렌즈 어레이를 직접 복제하는 공정으로 타 공정에 비해 공정이 단순하여 공정비용이 적고 재현성이 매우 높아 양산공정에 가장 적합한 방법일 뿐 아니라, 광학적 정렬방법을 수행함으로써 높은 정렬도 구현이 가능하다. 또한 적절한 성형 재료 선택 및 정밀 몰드 제작을 통해 높은 광학성능 및 내구성을 갖는 초정밀 마이크로렌즈 어레이의 제작이 가능하다.

Monolithic lithography integration 공정을 이용한 마이크로렌즈 일체형 개구어레이의 제작공정은 기 제작된 개구어레이 상에 자외선에 반응하여 경화하는 포토 폴리머를 도포하고, 투명 몰드와 개구어레이를 정렬하고, 가압공정을 통해 성형시 발생하는 수축을 보정함과[7] 동시에 자외선을 조사하여 폴리머를 경화하는 공정으로 이루어진다. 그림 9 는 본 연구의 집적 공정에 사용한 monolithic lithography integration 시스템의 사진이다. 시스템은 콜리메이팅 된 자외선을 조사할 수 있는 광원조사부와 초정밀 정렬을 가능케 하는 현미경 및 스테이지부, 가압을 가능하게 하는 유압 시스템부로 나뉘어 진다.

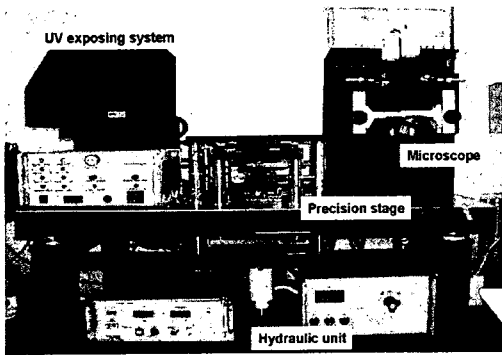


Fig. 9 Picture of monolithic lithography integration system

개구어레이상에 설계된 형상의 마이크로렌즈 어레이를 성형하기 위해 먼저 최종 마이크로렌즈 형상의 음각 형태를 갖는 자외선 투과형 몰드를 제작하였다. 그림 10 은 제작된 자외선 투과형 몰드의 SEM 사진과 AFM 을 이용하여 측정된 자외선 투과형 몰드의 3 차원 표면 프로파일이다. 제작된 자외선 투과형 몰드를 이용하여 개구 어레이상에 마이크로 렌즈 어레이의 정렬 성형 공정을 수행하였다. 사용된 성형 재료는 아크릴레이트 계열의 UV 경화 폴리머로 재료의 점도는 400cps 이며, 2000mJ 의 광량과 90kPa 의 가압조건에서 성형공정이 수행되었다.

성형된 마이크로렌즈 어레이의 형상 특성을 평가하기 위하여 광학 현미경, SEM, AFM, 프리즘 커플러 두께 측정기를 이용하여 각각의 항목을 측정하였다. 그림 11 은 monolithic lithography integration 공정을 통해 제작된 마이크로렌즈 어레이의 SEM 사진을 보여주며, 표 1 은 각각의 형상 측정 결과를 설계치와 비교한 것이다. 표에서 알수 있듯이 제작된 렌즈의 직경 및 주기는 설계치와 같이 각각 14 $\mu$ m 과 15 $\mu$ m 이며, 렌즈 높이는 2.68 $\mu$ m, 렌즈 하부 두께는 22 $\mu$ m 으로 설계공차 이내이며 표면 거칠기는 5.41nm 로 매우 우수함을 알 수 있다.

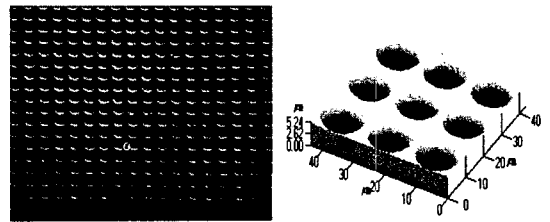


Fig. 10 (a) SEM image and (b) 3D-surface profile of UV-transparent mold

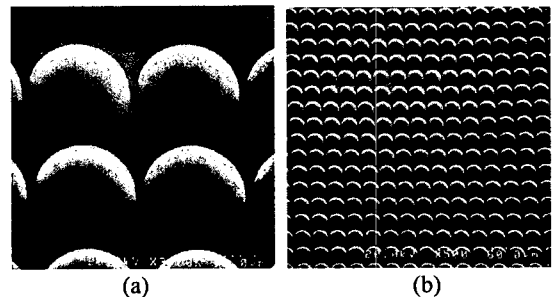


Fig. 11 SEM images of integrated microlens array with sag height of 2.68 $\mu$ m, pitch of 15 $\mu$ m and array size of 1000x1000



## 5. 결론

본 연구에서는 optical ROM card 시스템의 광효율 향상 및 작은 광 프로브 spot 크기를 구현하기 위해 마이크로렌즈 일체형 개구어레이를 설계 제작하여 기존의 개구어레이와 그 특성을 비교 평가하였다. 마이크로렌즈 일체형 개구어레이의 설계에 있어 적절한 제작 공차를 고려한 최적설계가 수행되었으며, reactive ion etching 방법으로 제작된 개구어레이상에 monolithic lithography integration 공정을 통해 마이크로 렌즈 어레이를 집적하였다. 최종적으로 제작된 마이크로렌즈 일체형 개구어레이에 의해 재생된 광 프로브의 특성을 평가한 결과 기존의 개구어레이에 비해 12 배의 광효율 향상효과를 관찰 하였으며 광 프로브의 spot 크기역시 405nm 파장에서 0.77 $\mu$ m 로 개구어레이에 비해 우수함을 확인하였다. 현재 고개구율 마이크로 렌즈를 사용한 광 프로브의 spot 크기 감소와 관련한 연구가 진행중이다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정 연구실 사업중 “나노 몰드 및 고분자 나노 복제 기술의 나노 광 전자소자 응용” 연구과제로서 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] T. Hoog, A. Kastelijn, R. Hendriks, R. Verberne and C. Busch, 2004, “Optical ROM card system based on the Talbot effect”, ISOM’04.
- [2] M. Testof, J. Jahns, N. A. Khilo and A. M. Goncharenko, 1996, “Talbot effect for oblique angle of light propagation”, Optics Comm., Vol.129, pp.167-172
- [3] S. Kang, 2004, "Replication Technology for Micro/Nano Optical Components" Japanese Journal of Applied Physics, Vol.43, No.8B, pp.5706-5716
- [4] Z. D. Popovic, R. A. Sprague and G. A. Neville Connell, 1988, “Technique for monolithic fabrication of microlens arrays”, Appl. Opt., Vol.27, pp.1281-1297
- [5] D. L. MacFarlane, V. Narayan, W. R. Cox, T. Chen, and D. J. Hayes, 1994, “Microjet fabrication of microlens array”, IEEE Photonics Technology Letter, Vol.6, No.6, pp.1112-1114
- [6] S. Kang, S. Kim, H. Kim and J. Lim, 2005, "Fabrication Technology for Photonic Devices- Micro/Nano-Molding" CPT 2005 (Japan), pp.16-19.
- [7] S. Kim and S. Kang, 2003, "Replication qualities and optical properties of UV-moulded microlens arrays"

- Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.36, No.20, pp.2451-2456
- [8] S. Moon, N. Lee and S. Kang, 2002, "Fabrication of a microlens array using micro-compression molding with an electroformed mold insert", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol.13, No.1, pp.98-103