

## 폴리머 마이크로렌즈 제작

류근걸, 김영근, 전광석

순천향대학교 공과대학 신소재공학과

(접수일자 : 2005. 10. 24 / 채택일자 : 2005. 12. 5)

## Polymer Microlens Fabrication

Kunkul Ryoo , Younggeun Kim, Kwangseok Jeon

Advanced Material Engineering, SoonChunHyang University, Asan 336-745, Korea

### 요 약

마이크로렌즈 어레이의 제작은 매우 다양한 재료와 방법이 제안되어 지고 있으나, 폴리머를 이용한 사출법은 광학적 특성, 내충격성, 가공성, 경량화 및 환경친화성 등의 장점으로 주목 받고 있다. 사출법 템플레이트를 제작하기 위한 PR(Photo-Resist) reflow법은 형상제어가 용이하고 대량생산과 정밀가공의 측면에서 효율적이어서, 집적화가 용이하고 공정을 줄일 수 있는 장점을 갖게 되어 매우 환경친화적이다. 그러나 마이크로렌즈 어레이의 사출성형은 사용되는 폴리머재료의 성질에 따라 성형에 어려움이 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 이와 같은 성형의 어려움을 극복하기 위한 방법으로 급가열/급냉각 사출을 통하여 마이크로렌즈 어레이를 제작하고 특성을 이해하였다. 템플레이트의 급격한 온도상승과 고온에서의 모양이 냉각으로 인한 변형이 없도록 급속히 냉각시켜 줌으로서 마이크로렌즈 어레이의 사출성형을 구현 하였다. PC(Poly-Carbon ate)와 PMMA (Poly-Methyl-Meth-Acrylate)를 비교하여, PMMA가 낮은 용융점에 의해 성형성이 우수함을 확인하였다. 사출시 압력과 속도를 변수로 마이크로렌즈 어레이의 제작을 위한 사출조건을 도출하였다.

**ABSTRACT** : There have been many technologies and materials proposed for realizing microlens array, and plastic injection is recognized as the most promising one because of several merits such as optical properties, impact resistance, formability, lightening and environmental adaptability. Since PR reflow for injection template fabrication enables the lens shape control easier, and the sample technology more effective for mass production, it lowers the cost, enhances integration, and reduces process steps, which leads to be environmentally benign. However injection of polymers may face the difficulty of formability depending on their properties. In order to overcome the difficulty, fast heating/cooling technology was introduced in this study, and microlenses were fabricated and evaluated. template obtained by PR reflow method was heated and cooled fast during injection to fabricate microlens array. PC and PMMA polymer materials were compared, and it was realized that PMMA showed much better formability due to its lower melting temperature. Injection parameters of pressures and velocities were driven out for injection optimization.

**Key words** : PR reflow, Injection, Plastic, Microlens array, environmentally benign, fast heat/cool

### 1. 서 론

마이크로렌즈는 통신, 의료기기, 멀티미디어기기, 전자기기분야 등의 부품에 다양하게 응용되고 있다. 마이크로렌즈는 반도체 레이저와 광섬유와의 연결 부분에서 레이저의 퍼짐을 막는데 사용되며[1], 광감지 센서의 효율을 증대시켜 디스플레이의 성능 향상 등을 가능하게 한다[2]. 현재 연구되어지고 있는 마이크로렌즈의 제작법은 레이저 펄스를 이용한 에칭 방법[3,4], PR을 사용한 reflow 방법[5-8], 건식에칭 방법[9-10], CO<sub>2</sub> 가스 레이저를 사용한 유리표면 가공 방법[11], 용해된 유리의 표면장력을 이용한 방법[12], 폴리머의 레이저 증착과 이온빔 가공법[13-14], 잉크 제트 기술[15-16], PR 가열법[17-18], 그레이스케일 마스크법[19-20]등 매우 다양하다. 이중 유리렌즈 가공의 경우 고가의 고온성형기를 이용하여 약 섭씨 800도의 고온에서 유리렌즈를 성형하기 때문에, template의 수명이 문제가 되며 성형용 유리재질이 몇 가지로 한정되어 광학계 설계에 제약이 따르는 단점이 있다. 그러나 사출성형 기술을 이용하여 제작된 폴리머 마이크로렌즈는 유리 렌즈 보다는 Table 1 과 같은 장점을 가지고 있다.

Table 1. 폴리머 마이크로렌즈의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>■경량화.</li> <li>■가공의 높은 자유도.</li> <li>■대량 생산이 용이함.</li> <li>■내충격성이 뛰어나.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■내열성이 낮음.</li> <li>■열팽창계수가 큼.</li> <li>■이용가능 폴리머의 종류가 적음.</li> <li>■표면손상이 쉬움.</li> </ul>

### 2. 본 론

폴리머렌즈 가공법인 reflow방법은 정밀도, 광학적 성능, 대량생산, 재료절감, 낮은 단가 등의 면에 있어서 가장 환경친화적인 것으로 알려져 있다. Fig 1.에서와 같이 구면 형상을 만들기 위한 reflow 공정은 PR을 가열하여 표면적을 줄이는 과정에서 발생한다. 고온의 reflow 과정에서 용체가 기화된 만큼 질량이 줄어들지만 질량의 변화는 아주 미소하므로 원통의 실린더형상 패턴과 구형의 렌즈형상 패턴의 부피가 같다고 가정하여

다음의 식을 유도할 수 있다.

$$V_{cylinder} = t\pi r^2 \quad [※ t = \frac{h}{2} (\frac{h^2}{3r^2} + 1)]$$

$$V_{lens} = \pi h^2 (\frac{1}{8} D^2 h_{lens} + \frac{1}{6} h^3)$$

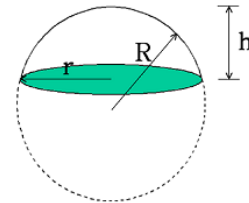
따라서  $V_{cylinder} = V_{lens}$ 로 가정하면,

$$h_{lens} = R - (R^2 - r^2)^{1/2}$$

이 된다.



(a) reflow 전 PR 실린더패턴



(b) reflow 후 PR 렌즈패턴

Fig. 1. PR reflow에 의한 마이크로렌즈 제작.

이와 같은 어레이 형태의 마이크로렌즈 제작에 쓰이는 폴리머재료는 미세구조의 사출성형이 쉽지 않다는 단점이 있다. 즉 사출성형 시 미세 template내에서 완벽한 사출형태를 유지하지 못하고 미리 응고하거나 성형 후 수축하거나, 혹은 뒤틀림 현상 등이 있게 되는 것이다. 또한 많은 외관 결함이 발생하여 이를 보완하기 위해 Spray Coating을 추가함으로써 원가가 상승하고 환경문제를 유발한다. 이와 같은 문제점을 극복하려는 시도가 사출성형 전·후에 template를 급가열 및 급냉각하여, 사출이 형성되고 유지되며 뒤틀림을 방지 하도록 하는 것이다.

급가열/급냉각 사출성형은 Fig. 2와 같이 template 표면만의 온도를 최고 400℃ 까지 10초 내외에 가열

하는 것이 가능한 신기술로서, 실제로 제조공정 중 폴리머 재료의 녹는 온도인 180°C 이상으로 template를 가열하여 폴리머를 충전시키고, 충전된 폴리머와 가열된 template를 50°C 내지 90°C 이하로 수십 초 이내에 급냉각하는 것이다. 본 연구에서는 PRreflow 법으로 template를 제작하고, 급가열/급냉각 기법으로 폴리머를 사출 성형하여 마이크로렌즈 어레이를 개발하고자 하였다.

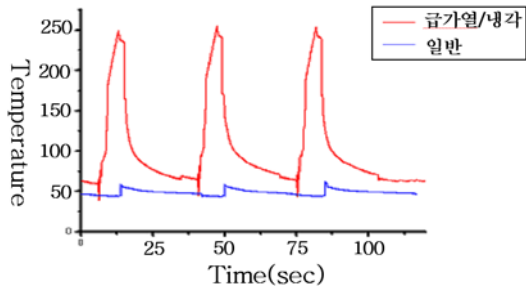


Fig. 2. 급가열/급냉각시 template 온도변화.

### 3. 실험방법

디스플레이 분야 중 휴대용 LCD 디스플레이 제품에 적용을 위하여 직경이 20 $\mu$ m인 마이크로렌즈를 25 $\times$ 35mm의 크기에 가로 1004개, 세로 1400개의 어레이 형태로 설계하였다.

Ni template 제작은 Fig. 3의 공정으로 진행하였다. Table 2에서와 같이 PR을 웨이퍼에 도포한 후 마이크로렌즈를 패터닝하여 150°C 오븐에서 3시간 이상 가열하여 용제가 제거 되면서 반구형으로 경화 되게 하였다. 이때 오븐을 배기하여 reflow가 이뤄지도록 하였다. reflow된 패턴 위에 Cr을 sputtering한 후 Ni 막을 전기도금을 한 뒤 Cr 용해용액에 웨이퍼를 담구어 Cr을 제거하여 웨이퍼와 Nitemplate를 분리 하였다. 제작된 Ni template는 직경이 100 $\mu$ m이고 두께 2.5mm의 4inch 웨이퍼 형태이었다. 제작된 Ni template를 이용하여 급가열/급냉각 사출성형을 하였다. 온도 조작은 사출시 250°C 온도로 가열하여 폴리머를 용해시킨 후 template에 폴리머를 충전시키고, 충전된 폴리머와 가열된 template를 냉각수를 이용하여 50°C 내지 90°C 이하로 급냉각하였다.

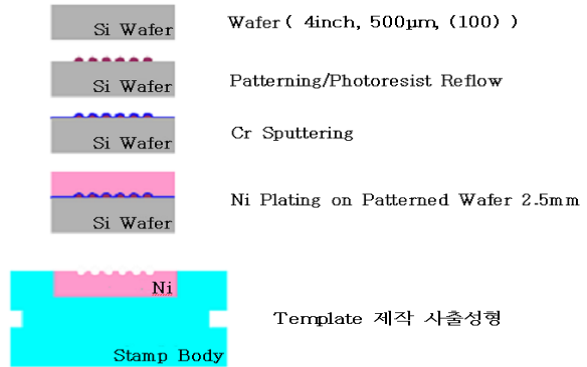


Fig. 3. Ni template 제작 공정 개략도.

Table 2. reflow를 위한 PR 도포조건

	AZ-P4330	P-LA900
Spray coating	500rpm/10sec	500rpm/10sec
Main coating	2000rpm/10sec	2000rpm/20sec
Bake	115°C / 3min30sec	110°C / 3min30sec
Exposure	15sec	35sec
Develop time	4min	4min

이때 재료는 성형능력을 비교하기 위하여 PMMA와 PC 두 가지 재료를 이용하였으며, 사출방법간의 비교를 위해 일반적인 사출방법과 급가열/급냉각 사출방법으로 성형하였고, Table 3과 같이 사출압력과 사출속도의 비교를 위해 25가지의 변수(I-A, I-B, I-C, II-A...)를 두어 사출을 하였다.

Table 3. 사출조건

	사출압력(kg/cm <sup>2</sup> )					
	보압	사출1	사출2	사출3	사출4	사출5
I	10	25	30	30	35	40
II	15	30	35	35	40	45
III	20	35	40	40	45	50
IV	30	45	50	50	55	60

	사출속도(rpm)				
	사출1	사출2	사출3	사출4	사출5
A	5	15	15	20	20
B	10	20	20	25	25
C	15	25	25	30	30
D	25	35	35	40	40

#### 4. 결과 및 고찰

Fig. 4는 reflow전후의 PR의 형태를 보여주고 있다. a)는 reflow전의 P-LA900 PR의 패턴이며 b)는 reflow 후의 결과이다. reflow전 P-LA900의 경우 충분한 실린더 형태의 패턴이 확보 되었다. reflow후 AZ-P4330은 오랜 시간 가열을 하여도 렌즈의 형상이 충분히 형성되지 않았으며, P-LA900의 경우는 6시간 동안 가열 하였을 때 최적의 렌즈 형상이 형성되었음을 알 수 있었다. 이와 같은 P-LA900PR패턴을 이용하여 Ni template를 제작하였다.

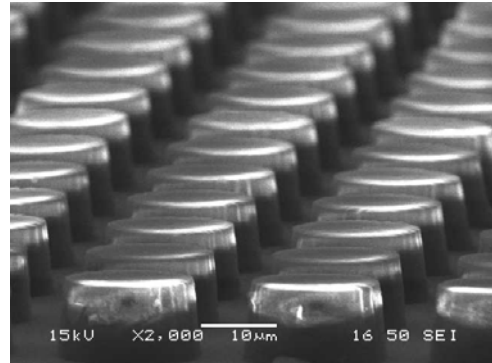
재료에 따른 성형능력을 비교하기 위해서 PMMA와 PC 두 가지 재료를 이용해 성형하여 비교하였다.

PMMA로 성형하였을 경우 Fig. 5의 a)와 같이 반구의 형태로 렌즈의 형상을 완벽하게 얻을 수 있는 반면, PC로 성형하였을 경우엔 b)와 같이 어레이 패턴만을 볼 수 있을 뿐 렌즈의 반구 형태는 볼 수 없었다. PMMA의 용점은 150°C인 반면 PC의 용점은 245°C로서 PMMA보다 PC의 용점이 높은 것에 기인한다고 볼 수 있다. 즉, template의 온도를 약 250°C 가량으로 유지되었으므로 PMMA는 150°C에서 이미 액체화되기 시작하여 250°C에서는 점성이 매우 낮아져 미세패턴에 쉽게 충전 될 수 있었다고 여겨진다. 반면, PC는 245°C에서 용해되어 액체화가 되기는 하지만 250°C에서 점성은 아직 높아 흐름성이 안 좋은 상태이므로 미세패턴까지는 충전되기가 어려웠던 것으로 예상되었다.

PC의 경우 온도를 더욱 높여 점도를 낮추면 가능하겠으나, PC는 270~320°C에서 황색화 현상을 띄며 광학성이 떨어지게 되는 결과를 초래하게 되므로 PC는 적절한 재료라 할 수 없었다.

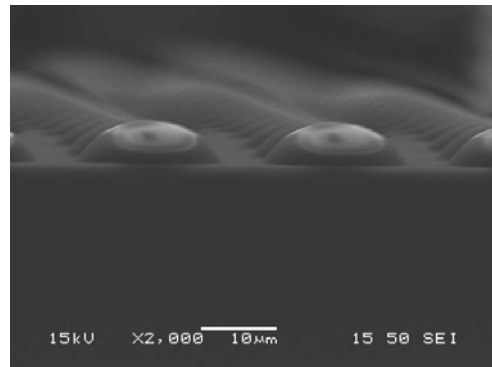
사출방법에 따른 차이점을 알기 위하여 PMMA를 이용하여 일반사출과 급가열/급냉각 사출방법을 비교하였다. 일반사출로 성형 하였을 경우 Fig. 6의 a)와 같이 렌즈의 형상이 제대로 형성이 되질 않고, 단지 어레이된 패턴만을 볼 수 있었다. 반면 급가열/급냉각 사출성형을 하였을 경우 Fig. 6의 b)와 같이 렌즈를 구현하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 일반사출로 성형을 하였을 경우 250°C의 온도로 용해되어 있는 폴리머가 낮은 온도의 template에 닿으면

P-LA900

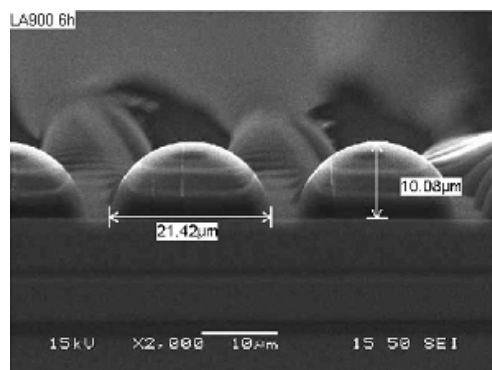


a) reflow전

AZ-P4330



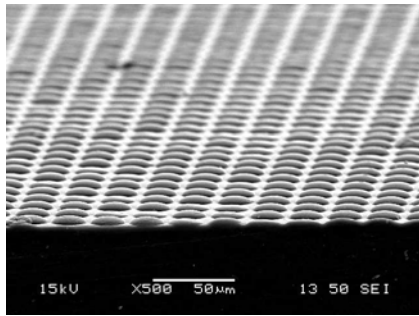
P-LA900



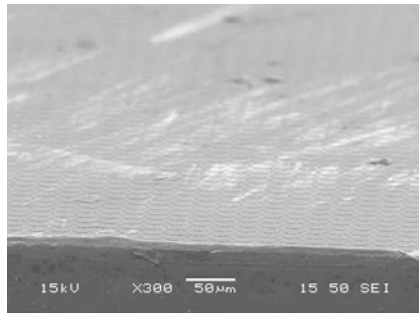
b) reflow 후

Fig. 4. PR reflow 결과.

서 바로 냉각이 진행되어 template안의 패턴에 원활히 흐르지 못해  $\mu\text{m}$ 단위의 미세패턴에 폴리머재료가 충전되지 못했기 때문이다. 반면 급가열/급냉각 사출성형의 경우엔 template의 온도가 재료가 투입되기

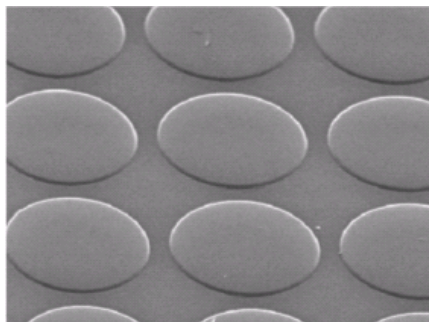


a) PMMA

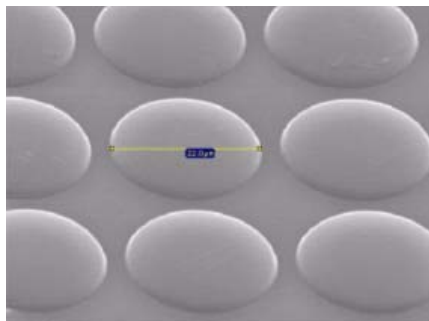


b) PC

Fig. 5. 두 재료에 따른 급가열/급냉각 사출성형성.



a) 일반사출

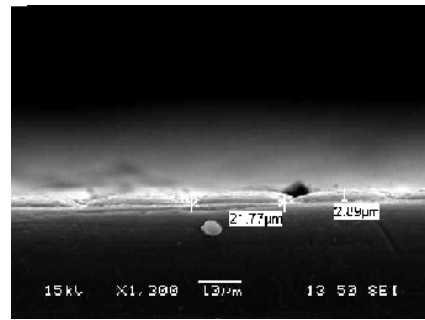


(b) 급가열/급냉각 사출성형

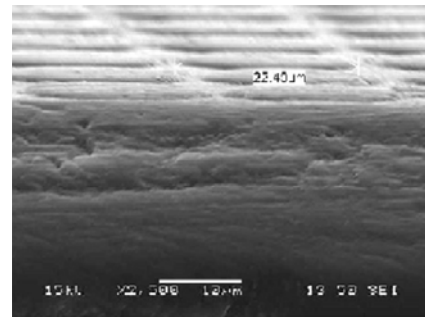
Fig. 6. 일반사출과 급가열/급냉각 사출간 마이크로 렌즈 어레이 비교.

전부터 이미 폴리머의 용융점과 동등한 혹은 그 이상의 충분한 열을 가지고 있어 폴리머가 투입되었을 때 액체의 상태를 유지하며 template의 패턴내에 원활히 흘러 다닐 수 있어 미세패턴에도 충분히 유입되어 렌즈형상이 구현될 수 있었다.

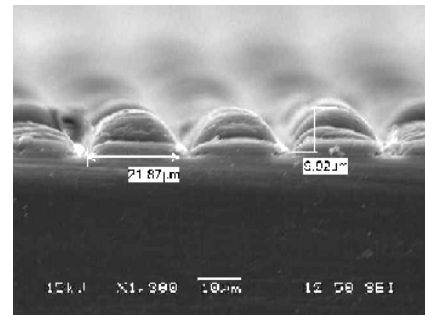
Fig. 7은 PMMA를 사출조건에 따라 마이크로렌즈의 성형상태를 나타낸 것이다. 사출압력이 a)와 c)를 비교하여 보았을 때 III번 조건일 때 렌즈의 모양이 가장 잘 표현되었음을 알 수 있었으며, 사출속도는 b)과 c)를 비교하였을 때 C조건이 좋은 형상의 렌즈를 구현함을 볼 수 있었다.



a) I-C



b) III-A



c) III-C

Fig. 7. 급가열/급냉각 사출조건에 따른 성형성.

## 5. 결 론

- [1] PR reflow를 이용하여 직경 20 $\mu$ m, 높이 10 $\mu$ m의 마이크로렌즈 어레이 형상의 template를 제작하였다.
- [2] PC와 PMMA를 비교하였을 때 PMMA의 흐름성이 PC보다 좋아 설계한 마이크로렌즈 어레이의 형상을 구현하였다.
- [3] 일반사출에 비해 급가열/급냉각 사출성형이 마이크로 렌즈를 구현할 수 있었다.
- [4] PMMA의 급가열/급냉각 사출압력III와 사출속도C로 제작할 때 최적의 마이크로렌즈 어레이가 성형되었음을 알 수 있었다.

## 인용문헌

- [1] Adisom Tuantranont, V.M. Bright, J. Zhang, W. Zhang, J.A. Neff, Y.C. Lee : "Optical beam steering using MEMS-controllable microlens array," Sensors and Actuators A 91, pp. 363~372, (2001)
- [2] L. B. Lesem, P. M. Hirsch, and J. A. Jordan Jr : "The kinoform: A new wavefront reconstruction device," IBM J. Res. Develop., vol. 13, pp. 150155, (1969).
- [3] S. Mihailov, and S. Lazare : "Fabrication of refractive microlens array by excimer laser ablation of amorphous Teflon," Applied Optics, vol. 32, No. 31, pp. 6211-6218. (1993)
- [4] M. Kubo and M. Hanabusa : "Fabrication of micro-lenses by laser chemical vapor deposition," Applied Optics, vol. 29, No. 18, pp. 2755-2759. (1990)
- [5] T. R. Jay and M. B. Steen : "Preshaping photoresist for refractive microlens fabrication," in Proc. SPIE,, p. 275. (1993)
- [6] Y. Lin, C. Pan, K. Lin, S. Chen, J. Yang, and J. Yang : "Polyimide as the pedestal of batch fabricated micro-ball lens and micro-mushroom array," Micro Electro Mechanical Systems, 2001 The 14th IEEE International Conference, pp.337-340., (2001)
- [7] Y. S. Kim, J. Kim, J. S. Choe, Y. G. Roh, H. Jeon, and J. C. Woo : "Semiconductor Microlenses fabricated by one-step wet etching," IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 12, pp. 507~509, May (2000)
- [8] F. W. Ostemayer, P. A. Kohl, and R. H. Burton : "Photo electrochemical etching of integral Lenses on InGap/InP", Applied Physics Letters, Vol. 43, No. 7, pp. 642~644 (1983)
- [9] Taylor & Francis : D. Daly, Microlens Arrays, New York. M. B. Stem, T. R. Jay, (1994) "Dry etching for coherent refractive microlens array," Optical Engineering, vol 33, pp 3547-3551. (2001)
- [10] R. Steingrer and M. Fers : "Three-dimensional microstructure elements fabrication by electron beam lithography and dry etching technique," Microelectronic engineering, vol.53, pp. 539-542. (2000)
- [11] M. Wakaki, Y. Komachi, and G. Kanai : "Microlenses and microlens arrays formed on a glass plate by use of a CO<sub>2</sub> laser," Applied Optics, vol. 37, No. 4, pp. 627-631. (1998)
- [12] M. T. Gale and K. Knop : "The fabrication of fine lens arrays by laser beam writing," in proc. SPIE, vol. 398, pp. 347~353., (1983)
- [13] Yongqi Fu and Ngoi KokAnn Bryan : "Semiconductor Microlenses Fabricated by One-Step Focused Ion Beam Direct Writing," IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 15, No. 2, pp. 229~231, (2002)
- [14] Y. Fu, and B. K. A. Ngoi : "Investigation of diffractive-refractive microlens array fabricated by focused ion beam technology", Optical Engineering, vol. 40, No. 4, pp 511~516 (2001)
- [15] D. L. MacFarlane, V. Narayan, W. R. Cox, T. Chen, and D. J. Hayes : "Microjet fabrication of microlens array", IEEE Photonics Technology Letter, vol. 6, No. 6, pp.1112~1114
- [16] D. J. Hayes and W. R. Cox : "Micro-jet printing of polymers for electronics manufacturing", Adhesive Joining and Coating Technology in Electronics Manufacturing, pp. 168~173. (1998)

- [17] Z. D. Popovic, R. A. Sprague, and G. A. Neville  
Connell : " Technique for monolithic fabrication of  
microlens array", Applied Optics, vol. 27, pp.  
1281~1284. (1988)
- [18] 문성욱, 김희연 : "초소형렌즈 배열의 제작에 관  
한 연구", 센서학회지, 제10권 6호, pp. 279~285
- [19] T. J. Suleski and D. C. O'Shea : "Gray-  
scale masks for diffractive-optics fabrication: 1.  
Commercial slide imagers," Appl. Opt., vol. 34,  
No. 32, pp. 7507~7517, (1995)
- [20] G. M. Peake, S. Z. Sun, and S. D. Hersee :  
"GaAs microlens arrays grown by shadow masked  
MOVPE," J. Electron. Mater., vol. 26, pp. 1134~  
1138, (1997)
- [21] Asako sasaki, Toshihiko baba, Kenichi Iga :  
"Focusing Characteristics of Convex-Shaped  
Distributed-Index Microlens, " Jpn. J. appl Phys.  
vol. 31, pp. 1611~1617, (1992)