

# 도광판 금형의 제작 방법에 따른 사출금형 및 성형품의 표면특성에 관한 연구

도영수<sup>1,2</sup> · 김종선<sup>1</sup> · 고영배<sup>1</sup> · 김종덕<sup>1</sup> · 윤경환<sup>2</sup> · 황철진<sup>#</sup>

## A Study on the Surface Characteristics of Injection Mold and Injection Molded Part depending on LGP-Mold Fabrication Methods

Y. S. Do, J. S. Kim, Y. B. Ko, J. D. Kim, K. H. Yoon, C. J. Hwang

(Received August 16, 2007)

### Abstract

LGP (Light Guiding Plate) of LCD-BLU (Liquid Crystal Display - Back Light Unit) is one of the major components that affect the product quality of LCD. The optical patterns of LGP(2.2") molds are fabricated by three different methods, namely, (1) laser ablation, (2) chemical etching and (3) LiGA - reflow, respectively. The characteristics of surface patterns and roughnesses of molds and injection molded parts were compared to evaluate the optical characteristics. The optical patterns of injection molded LGP with mold fabricated by LiGA - reflow method showed the best geometric structure. The surface roughness (Ra) of LGP's with molds fabricated by (1) laser ablation: Ra $\approx$ 31nm, (2) chemical etching: Ra $\approx$ 22nm, and (3) LiGA - reflow: Ra $\approx$ 4nm.

**Key Words** : Injection Molding, LGP(Light Guiding Plate), Optical Pattern, Laser Ablation, Chemical Etching, LiGA-Reflow

### 1. 서 론

TFT-LCD는 자체 발광능력이 없기 때문에 반드시 후면에서 면광원을 만들어 광원을 공급하는 장치를 필요로 하는데, BLU(Back Light Unit)가 TFT-LCD Panel의 배면광원(Back Light)의 역할을 한다.

BLU는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 반사판, 도광판, 확산시트, 프리즘시트, 보호시트 등으로 구성되어 있다. 이중 도광판(Light Guideing Plate, 이하 LGP)은 광학패턴의 형성으로 선 광원인 CCFL이나 점 광원인 LED의 광을 면 광원의 형태로 확산

시키는 역할을 한다. 휴대폰용 도광판은 현재 도광판 하부에 레이저를 이용(laser ablation)하거나 화학약품을 이용한 부식(chemical etching)을 통하여 양각형태로 도광판 금형의 광학패턴을 제작하는 방식이 대부분을 차지하고 있지만[1~2], 형상의 균일도가 높고 패턴의 높이 조절이 가능한 LiGA-reflow 공정을 이용하여 도광판 금형의 광학패턴 가공하는 방법이 최근 많이 연구되고 있다. Wu와 Whitesides는 포토리소그래피(Photo-Lithography) 공정을 이용하여 마이크로렌즈(micro-lens)를 만드는 다양한 방법들을 제시하였고[3], Dutta 등은 나노임프린트 리소그래피(Nano-Imprint Lithography)를 이

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀

2. 단국대학교 기계공학과

# 교신저자: 한국생산기술연구원 정밀금형팀,

E-mail : cjhwang@kitech.re.kr

용하여 마이크로렌즈 패턴을 제작하였으며[4], 김종선 등은 7인치 도광판에 연속마이크로렌즈를 적용하였다.[5] 그리고 황철진 등은 마이크로렌즈의 세장비에 따라 도광판의 광특성 차이를 보임을 밝혔다.[6]

본 연구에서는 (1)레이저가공(laser ablation), (2)부식(chemical etching), 그리고 (3)LiGA-reflow 세가지 공정을 이용하여 도광판금형을 제작하고, 사출 100 성형공정을 이용하여 2.2인치 휴대폰용 도광판을 성형하였다. 이와 같이 세가지 광학패턴 제작방식을 통해 얻어진 금형 및 성형품의 같은 위치에 있는 패턴을 선정하여 형상 및 표면거칠기를 서로 비교하여 현재 제작되고 있는 도광판의 광학패턴 형상에 따른 광학적 효과에 대해 알아보하고자 한다.

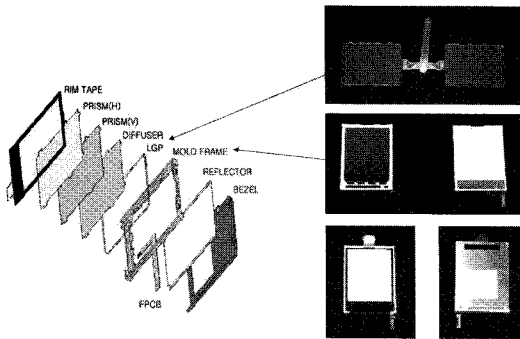


Fig. 1 Schematic diagram and parts of LCD-BLU

## 2. 세가지 금형제작 방식

본 연구에서는 균일한 면광을 얻기 위해 현재 양산하고 있는 2 인치 휴대폰용 도광판의 광학설계를 통해 최적화 되어있는 광학패턴분포를 이용하여, 기본광학 패턴을 반구형으로 가정하여 광학 해석설계로 최적화한 후, 동일한 광학패턴분포에 대해 지름 35 $\mu$ m, 높이 8 $\mu$ m 의 반구형 광학패턴(즉, 반구형 마이크로렌즈) 형성을 목표로 하여, 세가지 금형가공방법(1.레이저가공, 2.부식가공, 3.LiGA-reflow 방식)으로 금형가공을 진행하였다.

이와 같은 광학패턴설계를 통한 2 인치 도광판에는 145,870개의 반구형 마이크로렌즈 광학패턴이 적용되었으며, 세가지 금형가공방법 모두 동일한 위치에 마이크로렌즈 위치를 설정하였다.

Table 1 에 광학패턴 가공에 사용된 (a)레이저가공 및 (b)부식, 그리고 (c) LiGA-reflow 방식의 개략적 공정도를 도시했다.

### 2.1 레이저가공(laser ablation) 방식

레이저가공 방식에는 ND : YAG 532 nm green 레이저가 사용되었고, 스캐너를 이용하여 레이저를 반사시켜 가공하는 빔 스캔(beam scan) 방식으로 모재에 직접 광학패턴을 가공하여 금형(stamper)을 제작하였다. 레이저가공 방식에서 패턴의 크기는 레이저의 출력, 펄스(pulse), 스테이지의 높이 등을 조절하여 결정하게 된다.

레이저가공 방식은 패턴을 금형면에 음각으로만 가공할 수 있고, 재가공시 재현성을 보장 못하는 단점을 가지고 있다.

Fig. 2에는 레이저가공을 통해 제작된 금형(stamper)의 SEM 사진을, Fig. 3(a)에는 현미경(Olympus사, BX51) 사진을, Fig. 3(b)에는 광학패턴의 형상을 3D profiler (NanoFocus사,  $\mu$  - surf) 장비를 이용하여 측정한 결과를 나타내었다. 레이저가공법의 특성 상, 광학패턴 주위에 둔덕을 형성하고 있으나 중앙부는 비교적 원뿔형태에 가까운 형상을 가지고 있음을 알 수 있다.

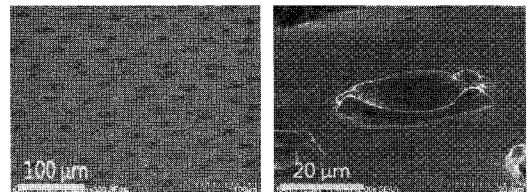


Fig. 2 SEM image of the optical patterns fabricated by laser ablation

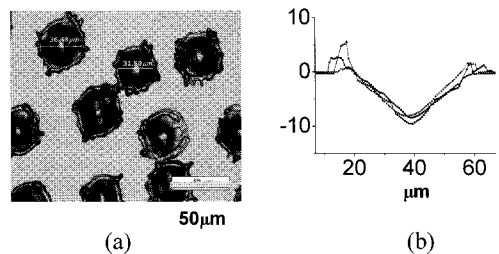


Fig. 3 (a) Microscope image and (b) profiler image of the optical patterns fabricated by laser ablation

### 2.2 부식(chemical etching) 방식

부식을 이용하는 경우에는 모재 위에 감광고분자 화합물인 PR(photo-resist)을 코팅한 후 마스크를 이용하여 노광공정을 통해 원하는 모양의 PR 구조물을 얻는 식각단계를 거쳐 노즐을 통해 화

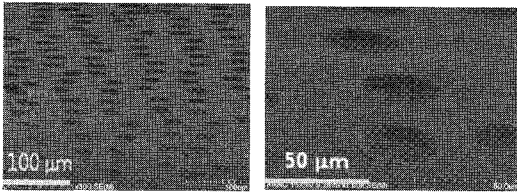


Fig. 4 SEM image of the optical patterns fabricated by chemical etching

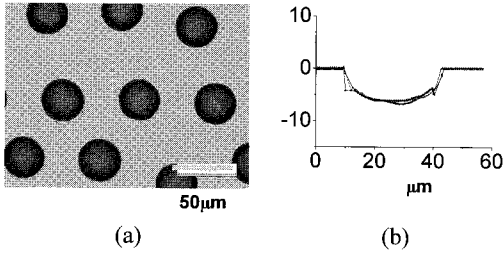


Fig. 5 (a) Microscope image and (b) profiler image of the optical patterns fabricated by chemical etching

학약품( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )을 정해진 압력으로 일정 시간 동안 분사하여 광학패턴이 가공된 금형(stamper)을 제작하였다. 부식방식은 약품의 분사시간, 분사량, 농도 등을 조절하여 패턴의 깊이를 조절하고, 지름의 크기는 마스크에 새겨지는 패턴의 크기를 이용하여 조절하게 된다. 레이저가공과 마찬가지로 금형면에 패턴을 음각으로만 가공 할 수 있고, 언더컷(under cut)의 영향으로 가공 깊이의 한계를 가지고 있으며, 약품 농도의 재현성문제로 인하여 재가공시 재현성 보장이 힘든 단점이 있다.

Fig. 4는 부식을 통해 제작된 금형(stamper)의 SEM 사진이고, Fig. 5(a)는 현미경 사진이며, Fig. 5(b)는 광학패턴의 형상을 3D profiler 장비를 이용하여 측정된 결과를 나타낸다. 부식방법의 특성상 광학패턴이 형성된 표면이 고르지 못함을 알 수 있으나, 형상은 세장비가 낮은 반구형을 띄고 있음을 알 수 있다. Fig.5(b)의 광학패턴 주위 수직하게 측정된 프로파일(profile) 부분은 광학부품 측정시 비접촉식 측정방식에 의한 오차로 인한 것이다.

### 2.3 LiGA reflow 방식

본 실험에 응용한 LiGA-reflow 공정은 LiGA(독일어, **L**ithographie=식각, **G**alvanoformung=도금 또는 전주, **A**bformung=사출성형)공정에 thermal-reflow를

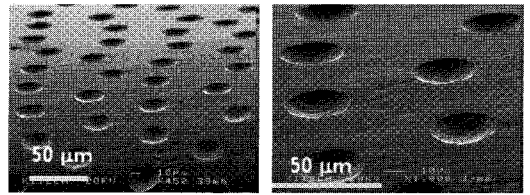


Fig. 6 SME image of the optical patterns fabricated by LiGA-reflow process

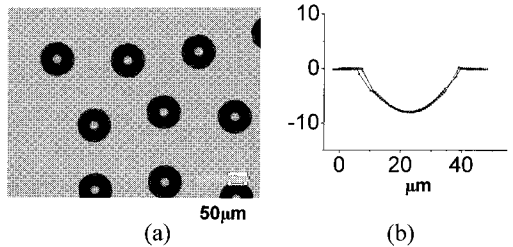


Fig. 7 (a) Microscope image and (b) profiler image of the optical patterns fabricated by LiGA-reflow process

추가한 공정으로, (i) 식각단계, (ii) reflow 단계, (iii) 전주단계 의 세 단계로 구성된다. 먼저 (i) 식각단계는 수  $\mu\text{m}$ 에서 수백  $\mu\text{m}$  정도의 두께를 갖는 PR(photo resist)을 노광시킨 후 현상액을 이용, 현상하여 원하는 구조물을 만드는 단계이다. 노광을 위해서 빛을 잘 투과시키는 부분과 잘 흡수하는 부분으로 되어 있는 마스크를 활용한다. 이렇게 빛에 조사된 부분과 마스크에 의해 조사되지 않은 부분의 차이에 의해 분자구조가 변한 PR 부분이 특정 화학약품에 쉽게 용해되는 특성을 이용한 현상공정을 통해 원하는 PR 구조물을 얻는다. 사용된 PR은 AZ9260으로 UV가 조사된 부분이 용해되는 성질을 가지고 있다. (ii) 식각단계에서 얻은 PR 형상은 원기둥 형상을 가지게 되는데, 이를 오븐에 넣어 PR 재료의 유리전이온도( $T_g$ ) 보다 높은  $135^\circ\text{C}$  에서 20분동안 reflow 시키면 표면장력에 의해 반구형 마이크로렌즈(micro-lens) 형상으로 가공된다. (iii) 이와 같이 LiGA - reflow 공정을 통해 얻은 마이크로렌즈 형상의 PR 구조물에 전주공정을 시행하여 금형(stamper)을 제작하게 된다. LiGA-reflow 방식은 1차 또는 2차 전주공정을 통해 음각 및 양각 금형패턴 가공이 모두 가능하고, 고 세장비(high aspect-ratio)를 가지는 광학패턴의 제작이 가능하다.

Fig. 6는 LiGA-reflow를 통해 제작된 금형(stamper)

의 SEM 사진이고, Fig. 7(a)는 현미경 사진이며, Fig. 7(b)는 광학패턴의 형상을 3D profiler 장비를 이용하여 측정된 결과를 보이고 있다. 다른 금형 가공방법에 비해 LiGA-reflow 방법에 의해 가공된 금형의 형상 및 표면이 매우 우수함을 알 수 있으며, 광학패턴 형상은 반구형에 가장 가까움을 알 수 있다.

### 3. 전주공정

음각의 광학패턴을 가진 도광판의 광학적 특성이 양각인 경우보다 우수하다는 이전의 연구결과에 근거하여[7], 본 연구에서는 각각 (a)레이저가공 및 (b)부식 공정으로 가공된 음각패턴 금형(negative-patterned mold)을 이용해서, 전주공정(electro-forming process)으로 양각패턴 금형(positive-patterned mold)을 제작하였다. 이를 (c) LiGA-reflow 방식으로 가공된 양각금형과 함께 각각의 금형가공방식에 따른 금형을 장착해서 광학패턴이 음각성형된 도광판(negative-patterned LGP)을 사출성형하여 비교 실험 및 측정하였다.

### 4. 사출성형

전주공정을 통해 제작된 양각패턴 금형을 이용하여 렌즈패턴이 적용된 음각패턴 도광판을 성형하기 위하여, 형체력 110ton, 최대 사출압력 2600 kgf/cm<sup>2</sup>, 최대사출속도 350mm/s인 LS전선의 LGE-110D 모델의 전전동식(full electric) 사출성형기를 사용하였다. 사용수지는 고무명성 및 고유동성을 가지고 있어서 두께가 얇은 제품 및 정밀한 패턴 성형에 주로 사용하고 있는 Mitsubishi사(Lupilon-HL4000)의 PC(Polycarbonate)를 사용하였다. 사출성형을 위한 성형조건으로는 미세패턴의 충전률을 고려하여 Fig. 8(a)와 같은 2.2인치 2cavity 도광판 금형의 전체 충전시간을 0.2sec, 사출속도는 금형 캐비티(cavity) 부분에서 255.2mm/s로 설정하였다. 또한, 사출온도(노즐부)는 315℃, 금형온도는 140℃로 설정하여 사출성형을 통해 Fig. 8 (b)와 같은 도광판을 제작하였다.

제품의 샘플링(sampling)은 사출성형조건이 안정화될 때까지(cyclic steady) 성형한 후(동일 사출성형 조건의 사출성형실험이 시작된 후 20개의 초기 성형품은 제외), 그 이후의 성형되는 제품 5개를 선정하여 측정에 사용하였다.

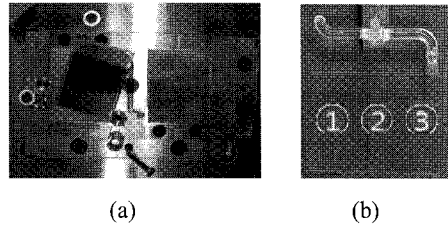


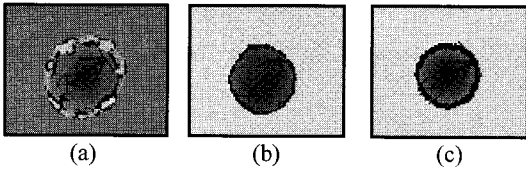
Fig. 8 Photos of (a) injection mold and (b) injection molded LGP

### 5. 측정결과 및 토의

레이저가공 및 부식 그리고 LiGA - reflow 공정을 통해 가공된 음각패턴 금형, 전주공정을 추가하여 제작된 양각패턴 금형, 그리고 사출성형된 음각패턴 도광판의 Fig. 8(b)에서 보이듯 패턴의 밀도 분포 차이를 보이는 ①, ②, ③ 동일 위치에 있는 광학패턴 5개씩 총 15개씩을 선택하여 3D-profiler(NanoFocus사,  $\mu$ -surf) 장비로 패턴크기 및 형상, 그리고 표면거칠기를 측정된 결과를 Table 2, Table 3, Table 4, Table 5에 각각 나타내었다.

세가지 공정을 통해 제작된 음각패턴 금형의 경우 Table 3의 프로파일러(Profiler) 이미지 측정결과에 나타난 바와 같이 레이저가공에 의한 패턴은 원추 형태로, 부식에 의한 패턴은 원기둥에 가까운 형태, LiGA-reflow 공정을 이용한 패턴은 반구형의 형태를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 광학패턴 형상은 반구형으로 가정하고 광학해석 설계를 할 경우, 광학패턴 형태가 달라짐에 따라 광학해석결과에 많은 오차를 가질 수 밖에 없음을 알 수 있고, LiGA-reflow 공정을 통한 반구형태의 금형가공방법에서 광학해석결과와 실제 사출성형된 도광판의 광특성과의 오차가 가장 작을 수 있음을 예측할 수 있다. 따라서 향후 반구형에 가까운 LiGA-reflow 금형가공방법이 도광판 금형개발에 광학해석결과를 통해 많은 시행오차를 줄일 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

표면거칠기는 3D-profiler를 이용하여 Fig. 9와 같이 패턴의 중심부근에서 25 $\mu$ m 정도의 기준길이를 정해 Ra, Rmax 값을 측정하였다. 여기서 Ra값은 중심선 평균값으로서 기준길이 내의 거칠기의 평균값을 나타내고, Rmax 값은 거칠기 단면곡선에서 기준길이만큼 채취하여, 단면곡선의 중심선과 평행하며 제일 높은 산과 제일 깊은 골을 접하는 두 평행선간의 거리로 정의된다.



**Fig. 9 Roughness measurement method of the molds and injection molded part fabricated by (a) laser ablation, (b) chemical etching, and (c) LiGA - reflow method, respectively**

레이저가공을 이용하여 제작된 패턴의 Ra 값이 Table 3, Table 4, Table 5에서 보듯이 음각패턴 금형 40nm, 양각패턴 금형 41nm, 그리고 사출성형품(도광판) 33nm로 가장 높게 나타났으며, 부식을 이용하여 제작된 패턴의 Ra 값은 음각패턴 금형 26nm, 양각패턴 금형 24nm, 그리고 사출성형품(도광판) 20nm로 낮다. 그리고 LiGA-reflow 공정을 이용해 제작한 경우, 음각패턴 금형 5nm, 양각패턴 금형 5nm, 그리고 사출성형품(도광판) 4nm로 가장 낮게 나타났다.

또한 세 가지 가공을 통한 패턴 모두 금형과 사출성형품의 Ra 값을 비교했을 때, 레이저가공의 경우 40nm에서 33nm로, 부식의 경우 25nm에서 20nm, LiGA-reflow의 경우 5nm에서 4nm로 낮게 나타났다. 이는 사출성형공정에 의한 성형품에 수축이 일어나는 고분자의 성형특성으로 인해 표면 거칠기가 낮아지는 것으로 알려져 있다[8].

그리고 Table 2 에서 보이듯 사출성형품의 패턴을 측정된 결과는 레이저가공의 경우 지름 37.75 μm, 높이 8.9μm로, 부식가공의 경우 지름 41.67 μm, 높이 6.63μm, LiGA-reflow의 경우 지름 33.7 μm, 높이 7.8μm로 나타났다. 이는 LiGA-reflow 공정을 이용한 방식이 지름 35μm, 높이 8μm의 설계치에 가장 근접함을 알 수 있다.

측정결과에서 알 수 있듯이 도광판을 생산하는데 있어, 같은 광학설계일지라도 광학패턴의 금형 가공방법에 따라 사출성형되는 도광판의 광학패턴 표면특성이 달라짐을 알 수 있다.

## 6. 결론

(1) 광학패턴 금형가공방식에 따라 패턴의 표면 특성을 알아보기 위해 레이저가공, 부식 그리고 LiGA-reflow 공정을 이용하여 사출금형 및 사출성형된 도광판을 제작하였다. LiGA-reflow 공정을 이용해 제작된 도광판 마이크로렌즈 패턴이 목표로

한 원형의 도트패턴의 형상에 가장 근접하다는 것을 보였다.

(2) 표면거칠기는 LiGA-reflow 공정을 이용해 제작한 패턴이 음각 금형 ~5nm, 양각 금형 ~5nm, 그리고 성형품 ~4nm로 가장 낮게 나타났다.

(3) 음각패턴 금형과 전주공정을 통한 양각패턴 금형의 표면거칠기가 거의 같은 결과를 나타냄으로써, 전주공정을 통한 금형복제공정에서 표면상태가 바뀌지 않음을 알 수 있었다.

## 후기

본 연구는 한국생산기술연구원 주관의 생산기술 연구사업/중소기업과제 ‘국부급냉요소 적용 게이트 자동절삭 중소형 도광판 금형기술’ 및 서울시 산학연 협력사업(2006)의 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다. 또한 많은 실험 정보를 제공한 민인기, 유재원씨께 감사드립니다.

## 참고 문헌

- [1] T. H. Kim, T. H. Park, H. K. Oh, Y. J. Shin, 2007, Analysis of the laser., Optics & Laser Technology, Vol. 39, Issue 7, pp. 1437~1442.
- [2] U. Kohler, A. E. Guber, W. Bier, M. Hecke, 1996, Fabrication of microlenses., Sensor Actuat. A, Vol.53, pp. 361~363.
- [3] M. H. Wu, G. M. Whitesides, 2002, Fabrication of two-dimensional arrays., Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol.12, pp. 747~758.
- [4] R. K. Dutta, J. A. van Kan, A. A. Bettiol, F. Watt, 2007, Polymer microlens replication., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B.
- [5] 김종선, 고영배, 민인기, 유재원, 허영무, 윤경환, 황철진, 2007, 연속마이크로렌즈 적용, 한국소성가공학회지, 제16권 제1호, pp. 42~47.
- [6] 황철진, 고영배, 김종선, 허영무, 2006, 세장비가 다른 마이크로렌즈를 적용한 2 인치, 생산기술연구논문집, 통권 15 호, pp. 105~115.
- [7] 황철진, 김종선, 고영배, 민인기, 유재원, 허영무, 윤경환, 2006, 음각, 양각 광학패턴, 한국금형공학회 학술대회 논문집, pp. 111~114.
- [8] D. S. Kim, H. S. Lee, B. K. Lee, S. S. Yang, T. H. Kwon, 2006, Replications and analysis of microlens., Polymer Engineering & Science, Vol.46, Issue 4, pp. 416~425.

Table 1 Schematics of mold fabrication processes

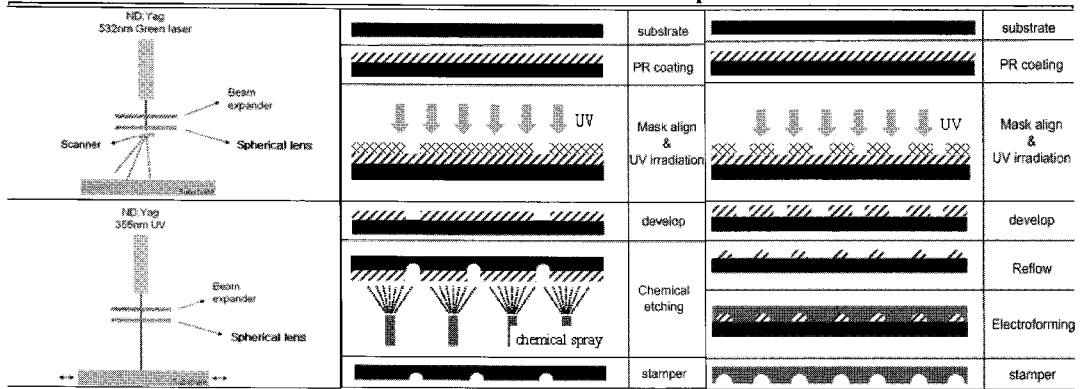


Table 2 Pattern size of the injection-molded negative-pattern LGP's fabricated by (a) laser ablation, (b) chemical etching and (c) LiGA - reflow method, respectively

	(a) Optical Design	(b) Laser Ablation	(c) Chemical Etching	(d) LiGA - Reflow
(1) Pattern Shape	near hemisphere	near cone	near hemisphere of low aspect ratio	near hemisphere
(2) Pattern Diameter	35 $\mu\text{m}$	37.8 $\mu\text{m}$ (+8.0%)	41.7 $\mu\text{m}$ (+19.1%)	33.7 $\mu\text{m}$ (-4%)
(3) Pattern Height	8 $\mu\text{m}$	8.9 $\mu\text{m}$ (+11.3%)	6.6 $\mu\text{m}$ (-17.5%)	7.8 $\mu\text{m}$ (-2.5%)

Table 3 Pattern surface of the negative-pattern molds fabricated by (a) laser ablation, (b) chemical etching, and (c) LiGA-reflow method, respectively

	(a) Laser Ablation	(b) Chemical Etching	(c) LiGA - Reflow
(1) Microscope Image			
(2) Profiler Image			
(3) Roughness	Ra = 40nm Rmax = 244nm	Ra = 26nm Rmax = 132nm	Ra = 5nm Rmax = 23nm

**Table 4** Pattern surface of the positive-pattern molds fabricated by (a) laser ablation, (b) chemical etching, and (c) LiGA - reflow method, respectively, after electroforming process

	(a) Laser Ablation	(b) Chemical Etching	(c) LiGA - Reflow
(1) Microscope Image			
(2) Profiler Image			
(3) Roughness	Ra = 41 nm Rmax = 246 nm	Ra = 24 nm Rmax = 131 nm	Ra = 5 nm Rmax = 24 nm

**Table 5** Pattern surface of the injection-molded negative-pattern LGP's fabricated by (a) laser ablation, (b) chemical etching and (c) LiGA - reflow method, respectively

	(a) Laser Ablation	(b) Chemical Etching	(c) LiGA - Reflow
(1) Microscope Image			
(2) Profiler Image			
(3) Roughness	Ra = 33 nm Rmax = 171 nm	Ra = 20 nm Rmax = 109 nm	Ra = 4 nm Rmax = 19 nm