

변형 DEEP X-ray 를 이용한 마이크로 렌즈 및 V-groove 제작

이정아* · 이승섭** · 전병희**

(2004년 2월 10일 접수)

Micro Lens Micro V-groove Fabrication by the Modified LIGA Process

J. A. Lee, S. S. Lee and B. H. Jeon

Abstract

Microlens and microlens V-groove are realized using a novel fabrication technology based on the exposure of a resist, usually PMMA, to deep X-rays and subsequent thermal treatment and inclined deep X-ray lithography, respectively. The fabrication technology is very simple and produces microlenses and microlens V-groove with good surface roughness of several nm. The molecular weight and glass transition temperature of PMMA is reduced when it is irradiated with deep X-rays. The microlenses were produced through the effects of volume change, surface tension, and reflow during thermal treatment of irradiated PMMA. Microlenses were produced with diameters ranging from 30 to 1500 μm . The surface X-ray mask is also fabricated to realize microlens arrays on PMMA sheet with a large area. The size of the micro V-groove is fabricated in the range of 12~60 μm .

Key Words : Microlens, LIGA, Glass Transition Temperature, PMMA, Micro V-Groove, Surface X-Ray Mask

1. 서론

최근 초고속 정보화의 시대에 발맞추어 디스플레이 산업은 급속한 성장을 보이고 있고, 이러한 추세는 앞으로도 상당 기간 지속되리라 예측된다. 동영상을 포함한 대부분의 정보들은 사람의 눈을 통해 전달될 수밖에 없고 따라서 디스플레이 제품은 사람의 시각적인 감각을 만족시키도록 발전할 수밖에 없는 실정이다. 또한 개인 휴대통신의 발달 및 소형 컴퓨터에 대한 요구로 인해 초경량의 저 소비전력 평판 디스플레이에 대한 요구가 증폭되고 있는데, 이를 대변하는 것들이 TFT-LCD, PDP, EL, 그리고 HDTV등이 있다. 이 가운데에서

TFT-LCD는 자가 발광하는 광원이 없기 때문에 반드시 광원을 필요로 하게 되는데, 백라이트(Back Light Unit, BLU)는 이 요구를 충족시키기 위하여 개발되었다.⁽¹⁻³⁾

BLU는 여러 부분으로 구성되어 있는데, 그 가운데에서 도광판(Light Guide Panel)은 가장 핵심이 되는 부품으로, 측면 광원으로부터의 들어오는 광을 최대한으로 디스플레이 전면으로 전달하는 역할을 한다. 광의 경로를 변경시키기 위해서는 여러 방법이 사용되고 있으나, 최근에는 도광판 하부에 수~수십 마이크로 크기의 초소형 V-groove 혹은 수십~수백 마이크로 크기의 렌즈를 어레이(array)시켜 광의 경로를 전면으로 향하는 기술에

* 한국과학기술원 기계공학과
** 인덕대학 컴퓨터응용기계계열

대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

종래의 실리콘을 중심으로 한 수십, 수백 μm 단위의 미세 구조물을 제작하는 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술에서 벗어나 유리, PMMA 등의 여러 가지 재료를 이용하여 크기 수 μm 에서 수 mm까지의 미세 구조물을 제작하는 기술이 활발히 개발되고 있다. 특히 고에너지 싱크로트론 방사광을 이용, 우라늄 동위원소를 분리하기 위한 슬롯 노즐(Slot nozzle)을 제작하는 과정에서 독일 Karlsruhe 원자핵연구소를 통해 처음 개발된 LIGA(Lithographie, Galvanoformung, Abformung in German : X-선 노광, 전기도금, 사출성형의 독일어 약어) 공정을 사용함으로써, 이러한 미세 구조물을 생산하는데 가장 경쟁력있는 기술로 인식되고

있다. 싱크로트론 방사광은 고에너지 광원으로서, 다른 광원보다 수 만배이상의 강한 광원에 해당한다. 이 방사광은 평행성이 매우 좋아 퍼짐이 아주 작고, 연속 에너지 스펙트럼을 가지고 있으며, 또한 고진공에서 발생하는 아주 깨끗한 광원에 해당하여, 높은 고품비의 초소형 구조물을 제조하는 것을 가능하게 한다.

이를 위해 도광판에 직접 물리적인 힘을 가해 홈을 내거나, 금형을 이용한 사출 성형 기술이 이용되고 있는데, 생산수율 및 조도 면에서 사출 성형 기술이 효과적이라고 믿어진다. 현재, 초소형 렌즈 어레이의 경우 레이저를 이용한 가공 방법 혹은 화학약품을 이용한 부식 방법이 주로 사용되고 있는데, 제작 시간이 길고 표면 조도가 좋지 않아 광학 제품으로서의 품질에 많은 어려움이 있다.⁽⁴⁾

2. 마이크로 렌즈 제작

2.1 변형 Deep X-ray 공정과 X-선 마스크 제작

1997년에 Ruther는 변형된 LIGA공정을 이용하여 마이크로 렌즈를 제작하였고 그 공정 순서를 Fig.1에 나타내었다.⁽⁵⁾ PMMA 감광재 층에 X-선을 수직으로 노광하고 그것을 현상하여 원하는 원기둥 모양의 구조물을 제작하고, 여기에 X-선률 2차 노광한 후 T_g 이상의 열처리 온도에서 일정시간 동안 유지시켜 반구형상의 마이크로 렌즈를 만들었다. 그러나 이와 같은 기술에 의한 마이크로 렌즈 제조방법은 현상 공정과 2차의 X-선 노광 공정이 요구되므로 제조 공정이 다소 복잡하다는 단점이 있었다. Fig. 2는 SOI 웨이퍼를 이용하여 마이크로 렌즈를 제작하는 원리를 보여 주고 있다.⁽⁶⁾ 한 번의 X-선 노광과 노광된 감광재에 대한 한 번의 열처리 공정으로 마이크로 렌즈 혹은 마이크로 렌즈 어레이를 제작하는 방법을 제공한다.

고에너지의 X-선 광원을 PMMA 감광재에 선택적으로 노광하기 위해서는 금 흡수층(Au absorber)을 가지는 X-선 마스크의 제작이 필요하다. Fig. 3은 SoI 웨이퍼 SOI(Silicon On Insulator)를 이용한 X-선 마스크에 대한 제작 공정을 보여 준다. 상부 실리콘 박막층 두께 $20\mu\text{m}$, 중간 산화막 두께 $1\mu\text{m}$ 의 4인치 웨이퍼를 X-선 마스크의 기판으로 한다.

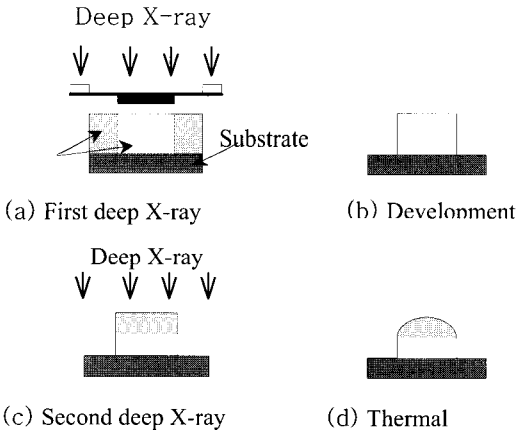


Fig. 1 Microlens fabrication process used previously by Ruther et al

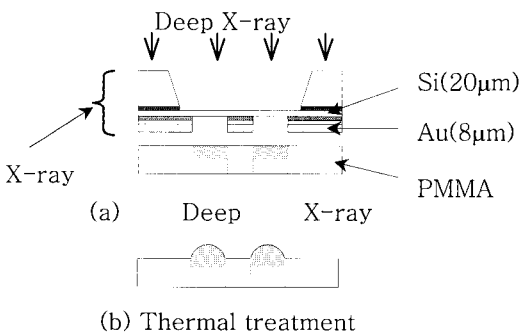


Fig. 2 The proposed microlens fabrication process by Lee⁽³⁾

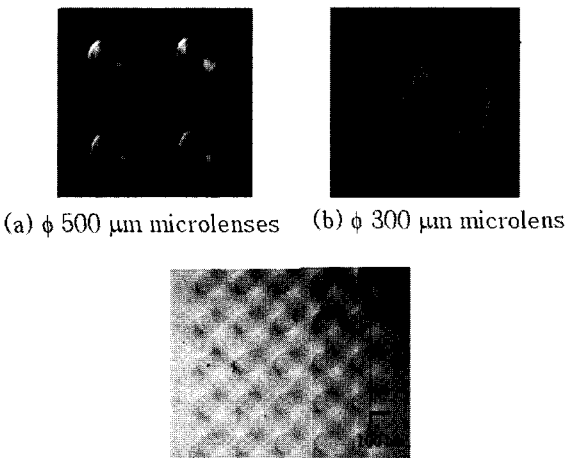
2.2 X-선 노광과 열처리 공정

제작되는 마이크로 렌즈의 형상은 PMMA에 노광된 X-선의 도兹량과 연관이 있다. 이러한 관계를 고찰하기 위하여 X-선 노광 공정에서는 PMMA가 노광되는 부분의 윗부분 도兹를 1.14~7.76 kJ/cm³의 영역에서 실행하였다. 마이크로 렌즈의 기관으로서 상용화된 2mm 두께의 PMMA 판 (Goodfellow Inc.)이 사용되었다.

노광 후에 시편은 순환 건조기에 넣어서 열처리 된다. 노광 공정에서 PMMA의 노광된 영역은 수직적으로 도兹의 분포를 갖고 이에 따라 T_g가 수직적인 변화를 보인다. 시편에 열이 가해지면 노광 영역의 윗부분은 다른 부분보다 더 빨리 녹게 되고 이 때 리플로우(reflow)와 영역 가장자리에 작용하는 표면장력에 의해 원하는 마이크로 렌즈가 만들어진다. Fig. 3은 변형 LIGA 공정에 의해 제작된 마이크로 렌즈 혹은 마이크로 렌즈 어레이의 사진이다. 115℃에서 15분간 열처리하였으며 노광 윗부분의 에너지량은 2.4 kJ/cm³ 이다.

2.3 몰드 인서트의 제작

몰드 인서트를 제작하기 위해서는 몰드 코어에 3가지의 다른 공정을 해주어야 한다. 그 첫번째로는 전도층 증착, 두 번째는 전기도금, 그리고 세 번째로 원하는 두께와 크기로 몰드를 만들기 위한 랩핑과 폴리싱이다. 이것에 대한 개략적인 그림을 Fig. 4에 나타내었다.



(a) φ 500 μm microlenses (b) φ 300 μm microlenses
(c) φ 100 μm microlenses
Fig. 3 Fabricated microlens

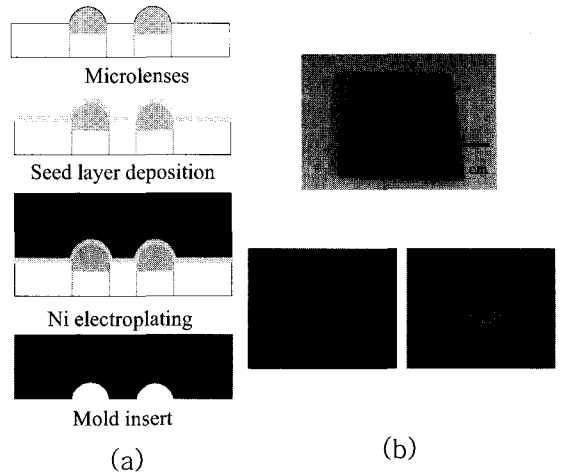


Fig. 4 Fabrication of the microlens mold insert for the hot embossing: (a) process and (b) photo of a electroplating plate

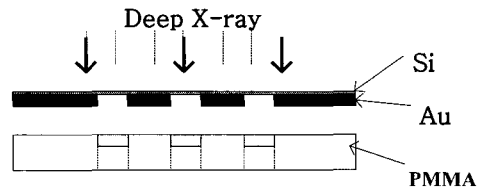


Fig. 5 Schematic view of X-ray exposure

크기는 가로, 세로 각각 3.5, 3.5 cm이고 두께는 3 mm이다.

2.4 Surface X-선 마스크를 이용한 스텝 퍼의 제작

기존의 마이크로 렌즈를 제작하는 대부분의 방법들은 대면적에서 마이크로 렌즈 어레이를 실현하는 데 어려움이 있다. 특히 액정 디스플레이(LCD)의 경우, 얇고 소형의 크기 및 낮은 소비 전력을 갖는 특징이 있고 핸드폰, 개인용 컴퓨터, TV등 다양한 분야에서 이용되고 있으며 최근 그 시장은 더욱 확대되고 있는 실정이다. 반사형 액정 디스플레이에서 외부 광을 효율적으로 이용함으로써 밝은 디스플레이를 얻기 위해서는 수백만 내지 수천만개의 마이크로 렌즈의 형성이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 변형된 LIGA 방법을 이용하여 대면적에서의 마이크로 렌즈 어레이를 제

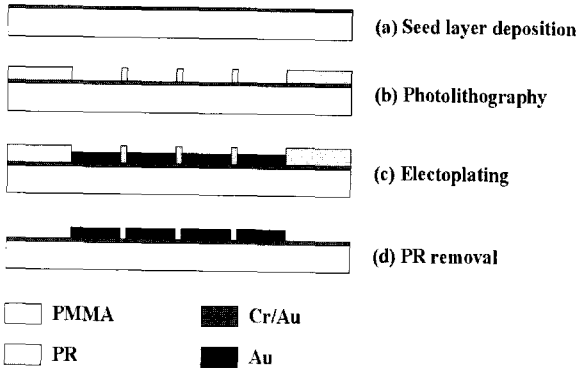


Fig. 6 Fabrication process of surface X-ray mask

작하고 대량 생산을 위한 스템퍼를 제작하였다.

Fig. 5는 기존의 X-선 마스크와 surface 마스크를 이용하여 노광하는 모습을 보여 주고 있다. 즉, X-선 마스크의 멤브레인으로 실리콘이나 그 화합물을 사용할 경우, 실리콘의 크기와 두께의 한계로 인하여 대면적을 가지는 마스크의 제작이 어렵다. Fig. 6은 PMMA 감광재 위에 직접 X-선 흡수층을 만드는 surface X-ray mask의 제작 공정을 보여주고 있다. 이 방법은 감광재 위에 마스크를 직접 만들기 때문에 대면적에서 마이크로 렌즈 어레이를 제작할 수 있다. 두께가 1.2mm이고 가로와 세로가 각각 145, 100mm인 PMMA 판을 사용하였고 패턴은 직경이 50 μ m인 원형이 100 μ m 간격으로 불규칙하게 배열되어 있다.(Fig. 7)

PMMA 표면위에 금 전기도금을 위한 전도층으로 크롬/금을 열증착기를 이용하여 가능한 한 짧은 시간동안 증착하여 PMMA의 열에 의한 손상을 방지했다. 감광재로 패터닝 후 10 μ m 두께로 전기도금을 하여 X-선 마스크를 제작하였다. 변형된 LIGA 공정을 이용하여 제작된 마이크로 렌즈 위에 니켈(Ni) 전기도금을 위한 전도층으로 크롬/금을 증착한다. 그리고 니켈을 350 μ m 두께로 도금하고 가로와 세로가 각각 160, 113mm이고 300 μ m 두께로 가공하였다.

3. 마이크로 V-groove 제작

3.1 UV 경사노광을 이용한 V-groove 제작

MEMS 공정인 UV 경사 노광을 이용하여 간단하면서도 조도가 훨씬 우수한 도광판 제작용

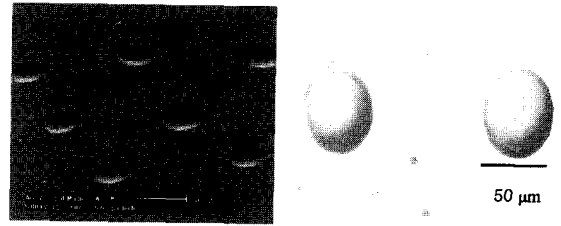


Fig. 7 Images of fabricated microlens

금형 제작 기술을 개발하였다. 기존의 UV 노광 반도체 제조 공정에서 수직 노광을 통해 배선의 패턴 제작을 위해 이용되었던 기술이었다. MEMS도 수직 노광을 통해 배선 패턴 제작 및 미세 구조물 제작에 이용되었다. 그러나 본 연구진은 일반적인 UV 수직 노광 방법에서 벗어나 UV를 경사 노광시킴으로써 효과적인 V-groove 제작 기술을 개발 하였다.

먼저 경사 노광을 위한 sample stage를 제작하였다. 현재 상용화된 UV 노광기는 모두 수직노광을 위해 고안되어 있어 본 연구 수행 목적인 경사노광을 통한 V-groove 제작을 위해서는 별도의 sample stage 제작이 필요하여, Fig. 8의 오른쪽과 같은 sample stage를 제작 하였고, 왼쪽과 같은 모습으로 sample stage를 고정하여 경사노광을 수행하였다.

도광판 제작용 금형 제작을 위한 공정은 Fig. 9에서 보여지는 것과 같은 순서에 의해 진행되었다. 먼저 4" 실리콘 웨이퍼에 수 마이크로론 두께의 SU-8 감광재를 스핀 코팅(spin coating)한 후, 두 번 경사 노광하였다. SU-8은 음성감광제로써 빛을 받지 않은 부분이 현상액(developer)에 용해되어진다. 따라서 현상 후 남아 있는 SU-8은 초소형 V-groove를 형성하게 되고, 그 위에 전기 도금을 위한 seed layer(1 마이크로 이하의 Au, Cr 박막)를 도포한 후, 니켈 (Ni)을 수백~수천 마이크로론 두께로 전기도금하면 stamper 혹은 금형 mold가 완성된다. 이와 같은 UV 경사 노광에 의한 초소형 V-groove 제작은 다양한 크기의 pattern을 한 장의 photomask에 제작함으로써 다양한 크기의 V-groove를 한번의 MEMS 공정으로 얻을 수 있을 뿐만 아니라, UV 광원을 이용하기 때문에 제조된 V-groove의 표면 거칠기는 매우 뛰어나, AFM(Atomic Force Microscope, 원자현미경) 측정 결과, 표면조도의 평

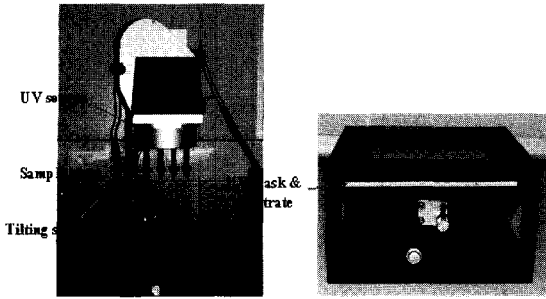


Fig. 8 Sample Stage

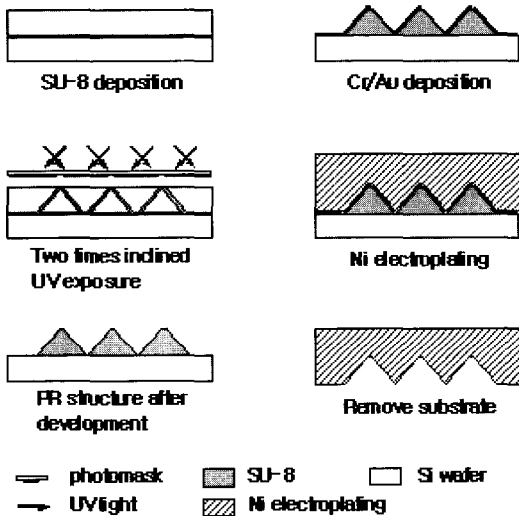


Fig. 9 Fabrication process

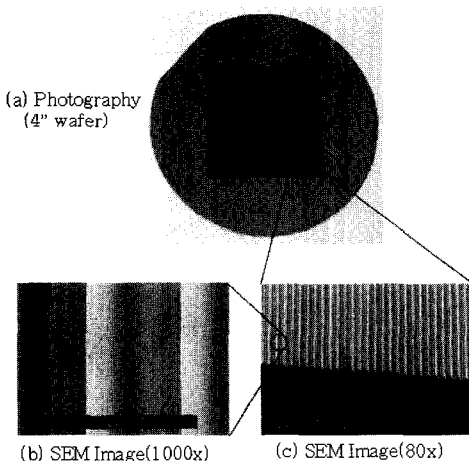


Fig. 10 Image of the fabricated V-groove

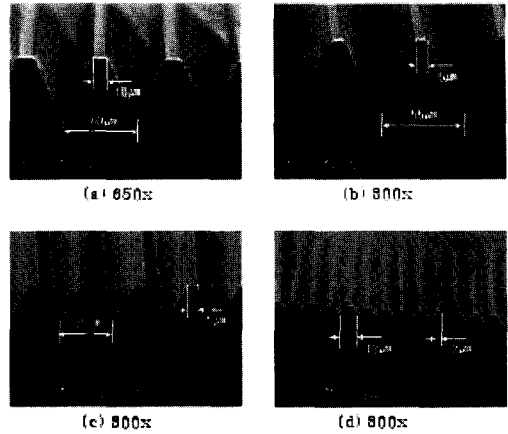


Fig. 11 Image of the fabricated V-groove with different dimension

균치가 Rms(Rq) 8.1nm로 거의 roughness가 존재하는 않는 것으로 확인되었다.

Fig. 10에 4인치 웨이퍼에 2.5인치 크기로 실제 제작된 초소형 V-groove 시편과 시편의 전자현미경 사진을 보여 주고 있다. 이와 같이 제작된 시편위에 Ni 전기도금하여 stamper 혹은 금형 코어를 완성하게 된다. Fig. 11는 12~60 μ m 사이의 pitch를 가지는 V-groove를 한 번의 공정으로 제작할 수 있으며, V-groove의 각도도 자유롭게 조절할 수 있다.

3.2 Deep X-ray 경사 노광을 이용한 V-groove 제작

LIGA 공정을 이용하여 수십에서 수백 μ m 범위의 높이를 가지는 초소형 V-groove 제작 기술을 개발하였다. 먼저 Deep X-ray를 차단할 수 있는 금(Au)으로 패턴을 정의하는 Deep X-ray 마스크를 제작하고, 이 X-선 마스크와 X-선에 사용되는 감광재인 PMMA를 X-선에 대해 경사지게 한 후 노광을 하고 현상을 하게 되면 노광된 PMMA 영역이 현상액에 녹게 되어 삼각산맥이 만들어진다. 이 위에 Ni을 두껍게 전기 도금한 후에 기판과 PMMA를 제거하게 되면 V-groove stamper 혹은 금형 코어를 제작할 수 있다.(Fig. 12)

4. 결론

X-선 노광에 따른 감광재의 T_g 변화를 이용하여 새로운 공정 방법으로 마이크로 렌즈 혹은 마

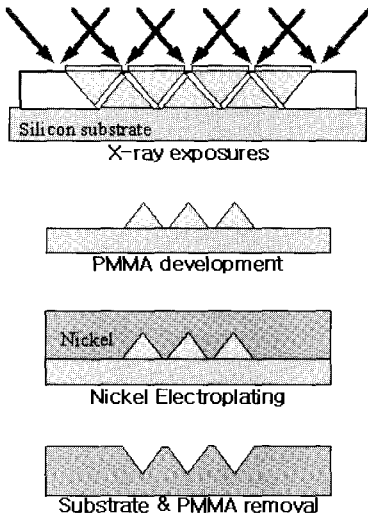


Fig. 12 Fabrication process

이크로렌즈 어레이를 간단하게 제작하였다. 또한 대량생산을 위하여 핫 엠보싱에 대한 금형을 제작하였고 PMMA를 사용하여 마이크로 렌즈를 만들었다. Surface X-선 마스크를 이용하여 직경이 50 μm 인 마이크로 렌즈를 대면적에 구현하였고 니켈 전기도금을 이용하여 스템퍼를 제작하였다. 또한 마이크로 V-groove를 제작하는 데 있어 UV 경사노광을 이용하는 공정을 위한 sample stage의 제작과 그를 이용한 V-groove 공정 개발을 완료하였으며,

최종적으로 기판에 다양한 크기의 V-groove를 동시 제작하였다. 제작된 V-groove의 크기는 수십에서 수백 마이크로론으로 다양한 형상으로 제작되었다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광열유체 마이크로 부품 기술개발 사업의 세부과제로서 수행 중이며 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

- (1) M. Katayama, 1999, "Thin Solid Films", P. 140,341.
- (2) S. Hotta et al., 1986, "Japan Display", PD3.
- (3) T. Unate et al., 1989, "Japan Display89 Digest", p. 434.
- (4) Optomine Co. Ltd., 2002, "Semiconductor Monthly,6.
- (5) Ruther, P., Gerlach, B., Göttert, J., Ilie, M., Mohr, J., Müller A., and Omann, C., 1997, "Fabrication and Characterization of Microlenses Realized by a Modified LIGA process," Pure Appl. Opt., Vol. 6, pp. 643~653.
- (6) 이성근, 이광철, 이승섭, 2002, "Microlens Fabrication Method by the Modified LIGA Process," 대한기계학회논문집, 제26권, 제11호, pp. 2450~2456.