

## Electroforming 공정을 이용한 마이크로 렌즈용 몰드 인서트의 제작

이남석\* · 문수동\*\* · 강신일\*\*\*

## Fabrication of Mold-insert for Micro-lens Using Electroforming Process

N. S. Lee, S. D. Moon, and S. I. Kang

### Abstract

Micromolding methods are most suitable for mass production of plastic microlens and lens array with low cost. Among the procedures related with micromolding of microlens array, fabrication of mold insert which contains micro cavity of lens shape is the most important stage. In this study, nickel mold inserts for 45 $\mu$ m and 95 $\mu$ m diameters lens array were fabricated using electroforming process. The mother for metal mold insert was made using reflow method. A micro compression molding with polymer powders was used to test the qualities of the metal mold inserts. Micro lens profile and surface roughness was measured by interferometric technique and AFM, respectively. The final molded lens replicated the mother well, and had good surface quality.

**Key Words** : Plastic Microlens, Electroforming, Metal Mold Insert, Micromolding, Interferometric Technique

### 1. 서 론

정보저장, 광통신 분야에서의 데이터 저장 용량 및 전송속도의 증가 추세에 따라, 플라스틱 마이크로 렌즈 및 렌즈어레이 양산 가공기술의 필요성이 대두되고 있다. 마이크로 렌즈 및 렌즈 어레이의 양산에 부합되는 폴리머 마이크로 렌즈 및 렌즈 어레이는 photoresist(PR) reflow 방식<sup>1</sup>, 식각(etching)<sup>2</sup>, 레이저 가공<sup>3</sup>, microjet 방식, 성형(molding)<sup>4,5</sup> 방식 등으로 가공되고 있다. 가장

널리 사용되는 제조기법인 reflow 기법은 상대적으로 우수한 표면 품질을 지니고 있고 수 마이크로 크기의 렌즈까지 제작이 가능한 장점이 있지만, 낮은 재연성 및 양산성, 사용재료의 한계 등의 단점이 있고, molding을 제외한 여타의 제조법도 유사한 문제점을 가지고 있다. 재연성과 양산성을 높이고 광학적으로 우수한 폴리머 재료를 사용하기 위해서는 렌즈형상의 캐비티를 갖는 몰드를 제작하여 이를 전사시키는 성형방식이 가장 바람직하다. 이를 위하여 식각을 통하여 실리콘 몰드를 제조하여 이

\* 연세대학교 대학원 정보저장공학 협동과정

\*\* 연세대학교 대학원 기계공학과

\*\*\* 연세대학교 기계·전자 공학부

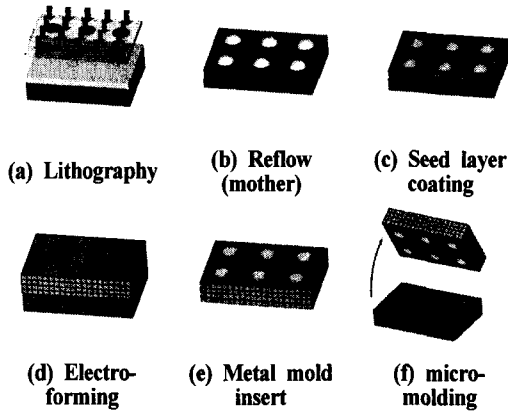


Fig. 1 Fabrication process of micro mold insert for micro lens.

를 이용하여 마이크로 렌즈를 전사하는 방식이 연구되었다<sup>45</sup>. 그러나 실리콘 몰드를 사용하는 경우, 식각공정 제어의 문제로 몰드 인서트의 제작에 어려움이 있고, 과도한 압력을 견딜 수 없어 쉽게 파손되므로 100 $\mu\text{m}$ 이하의 미세 패턴의 성형이나 양산성이 우수한 사출성형과 같은 고압 성형공정에는 적용하지 못하는 한계를 지니고 있다. 이에 본 연구에서는 식각 대신 electroforming을 이용하여 금속 몰드를 제작하는 연구를 수행하였다. Fig. 1과 같이 (1)reflow 방식으로 최종 제품과 동일한 형상의 마더(mother)를 제작하고 (2)마더를 통해 전주공정을 수행하여 금속 몰드인서트를 제작하였다. 본 연구의 타당성을 검증하기 위하여 (3)몰드인서트를 이용하여 압축성형을 하여 마이크로렌즈 및 렌즈어레이를 성형하였다. 또한 (4) 마더 렌즈의 곡면과 성형된 렌즈 곡면의 측정을 통해 전사성을 검토하고 표면거칠기의 측정을 통해 본 공정을 통해 마이크로 렌즈용 금형 제작의 타당함을 보였다.

## 2. Reflow를 이용한 마더의 제작

마더의 제작은 기존의 어떤 마이크로 렌즈 제작방식으로든 가능하다. 본 연구에서는 그중 실리콘 웨이퍼 기판 위에 PR 패턴을 reflow 하는 기법을 이용하였다. Reflow 기법은 평판 위에 lithography 공정을 통해 미세 PR 패턴을 형성하고 열처리하여 패턴을 표면장력에 의해 구면형태로 바뀌게 하여 이를 렌즈면으로 사용하는 것이다. 우선 원하는 직경, 높이, 및 곡률반경의 렌즈를 제작하기 위한 초기 PR 패턴의 높이와 직경을 결정하여

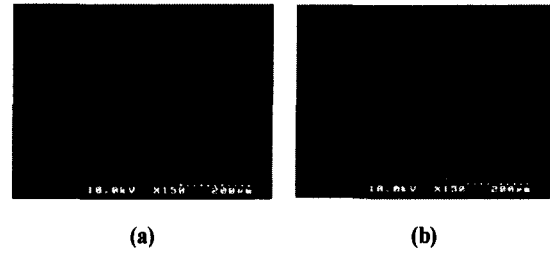


Fig. 2 SEM images of reflow lens array for mother ((a) lens diameter is 45 $\mu\text{m}$  and (b) lens diameter is 95 $\mu\text{m}$ )

야 한다. 일반적으로 reflow 전의 초기 PR 패턴의 볼륨은 reflow 후에 변하지 않는다고 가정한다. 따라서 PR 패턴의 체적을 정밀히 측정하면 reflow 뒤의 형상을 기하학적으로 예측할 수 있어 렌즈의 곡률반경 R을 예측할 수 있고 초점거리까지 계산할 수 있다. 또한 이의 역순으로 원하는 초점 거리를 가지는 렌즈를 위한 PR 초기 체적을 결정할 수 있다. 본 연구에서는 250 $\mu\text{m}$  피치 간격의 곡률반경 30 $\mu\text{m}$ , 직경 45 $\mu\text{m}$ 를 렌즈 어레이와 곡률반경 110 $\mu\text{m}$ , 직경 95 $\mu\text{m}$ 의 렌즈어레이를 제조하기 하여 lithography 공정을 통해 두께 6.5 $\mu\text{m}$ 의 직경 45 $\mu\text{m}$ , 95 $\mu\text{m}$ 의 원뿔대 PR 패턴을 제작하였다. PR 재료로는 Hoechst AZ4620을 사용하였다. PR두께를 제어하기 위하여 coating spin 속도를 제어하였다. Alpha-Step을 이용하여 PR 두께를 측정하였다. 이후, 제작된 PR 패턴을 hot plate에서 90초간 170 $^{\circ}\text{C}$ 로 reflow하여 렌즈를 제작하였다. Fig.2는 각각 직경이 45, 95인 reflow 렌즈 어레이의 SEM 이미지이며, 전면에 걸쳐 결함이 없고 균일한 형태의 렌즈면을 지님을 보여주고 있다.

## 3. Electroforming 공정을 이용한 금속 몰드 제작

본 연구에서는 준비된 마더를 통해 금속 몰드인서트를 제작하기 위해서 전주공정을 수행하였다. 우선 마더 표면에 conductive seed layer 코팅을 하기 위하여 증착(evaporation)공정을 수행하였다. Seed layer의 재료로는 도금재료와 동일한 Ni 또는 Ti을 사용하였다. Ni과 Ti은 우수한 경도와 열적안정성에 의해 금형표면으로 우수한 것으로 알려져 채택하였다. Seed layer의 증착후, Ni electroforming공정이 수행되었다. 도금액으로는 니켈 설파메이트 욕(Ni sulfamate bath)을 사용하였다. 증착조건 및 도금 조건을 조절하고 적절한 지그를 설계하여 electroforming층 내의 잔류응력의 발생을 억제하였고

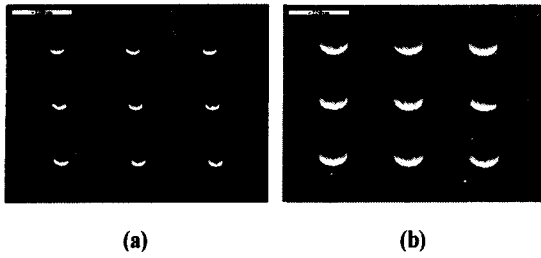


Fig. 3 SEM images of nickel electroformed micro mold insert ((a) lens diameter is  $45\mu\text{m}$  and (b) lens diameter is  $95\mu\text{m}$ )

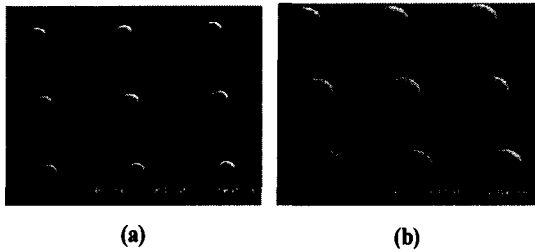


Fig. 4 SEM images of molded micro lens array ((a) lens diameter is  $45\mu\text{m}$  and (b) lens diameter is  $95\mu\text{m}$ )

electroforming이 완료된 후에 뒷면 연마(back polishing)을 수행하여 몰드 인서트의 두께를 조절하고 경면화하였다. 캐비티 면으로 사용될 몰드면은 마더와 접했던 면으로 electroforming 공정을 통해 후공정없이 경면으로 가공되었다. Fig. 3는 제작되어진 Ni 마이크로 몰드 인서트의 SEM 사진을 보여준다. 오목한 곡면의 직경은 마더의 형상과 동일하게 각각  $45\mu\text{m}$ ,  $95\mu\text{m}$ 이며 각 렌즈간의 간격은  $250\mu\text{m}$ 였다.

#### 4. 마이크로 압축 성형 공정

본 연구의 타당성을 검증하기 위하여 제작된 몰드인서트를 통해 폴리머 마이크로 렌즈어레이의 마이크로압축 성형을 수행하였다.  $100\mu\text{m}$ 이하의 미세 렌즈 형상을 완벽하게 전사하기 위하여  $40\text{MPa}$  이상의 압축압력이 필요하며, 이 경우 실리콘 몰드는 파손될 가능성이 커 필히 금속 몰드를 필요로 한다. 개발된 마이크로 압축성형 시스템 장비<sup>45</sup>를 이용하여 원기동형의 램 위에 지그를 장착하고 니켈 몰드인서트를 배치하였다. 외측 실린더는 가열을 위한 전기저항 열선을 내장 하여 성형온도까지 가열하게 된다. 내부의 온도를 측정하기 위하여 상측 램에 열전대를 배치하여 시간에 따른 온도이력을 측정하였다.

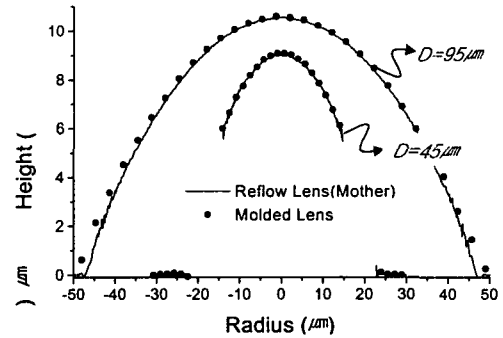


Fig. 5 Comparison between reflow lens profile and molded lens profile.

또한 로드셀을 통하여 압력의 이력도 측정하고 이를 피드백하여 압력을 제어하였다. 미세렌즈의 재료로는 PMMA 분말을 사용하였다. 사용된 PMMA는 93.0%(3.2 mm) 투과도(transparency), 1.49 굴절률 (refractive index at 633 nm wavelengths), 1.0% 탁도(haze)의 성질을 지닌 광학용 재료이다. PMMA 분말을 몰드인서트 위에 도포하고 금형을 성형온도까지 가열시켰다. 가열하는 동안 금형에서 재료로의 열전달이 원활하게 이루어지도록 예압을 가하였다. 금형이 성형온도에 도달하면 성형압력을 가하여 몰드인서트의 미세간극사이로 재료가 충전될 수 있도록 하였다. 보압을 가하는 동안 금형을 냉각하고, 금형이 취출온도까지 냉각되면 성형된 마이크로 마이크로 렌즈어레이는 금형에서 분리되게 된다. Fig. 4는 제작된 마이크로 렌즈 어레이의 SEM사진이다.

### 5. 결과 및 토의

#### 5.1 렌즈면의 측정

현재 마이크로 렌즈의 성능을 평가하기 위한 여러 연구가 진행에 있다. 그중 형상의 측정에 흔히 사용되는 것이 SEM과 Stylus, AFM 등이 있다. 이중 SEM은 그 형상의 윤곽은 묘사해주나 정확한 치수를 얻어내기 어렵고, stylus와 AFM은 그 특성상 계단형상, 격벽이나 반구같은 급격한 경사 형상에서 왜곡된 결과를 보여준다. 본 연구에서는 간섭의 원리를 이용하여 마이크로 렌즈의 형상을 측정하였다. Fig 5는 3D profiler를 통해 측정된 reflow 렌즈면(mother 면)과 성형된 마이크로 렌즈의 단면형상을 비교한 것이다. 그림을 통해 알 수 있듯이 마

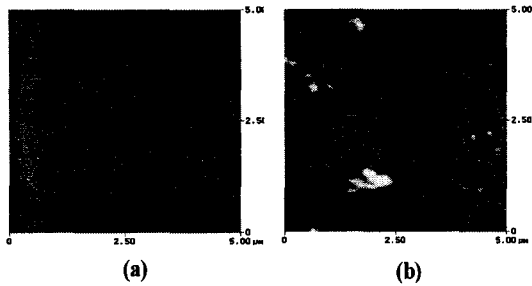


Fig. 6 AFM images of (a) nickel mold insert and (b) molded lens.

이크로 렌즈는 확대칭형상을 지니고 있으며 초기 마더의 미세형상을 측정오차 범위 내에서 정확히 전사하고 있음을 알 수 있다.

## 5.2 표면거칠기의 변화

성형된 렌즈를 광학적으로 사용하기 위해서는 전사성 외에 성형된 면의 표면 거칠기 또한 중요하다. 본 연구에서는 AFM (Atomic Force Microscope)를 통하여 금형의 표면과 성형품의 표면의 표면 거칠기를 측정하였다. 측정영역은  $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 의 렌즈면을 측정하였다. Fig. 6은 금형표면과 성형품의 표면의 AFM 측정 결과를 보여준다. 금형의 경우, 측정된 표면 거칠기는 Ra 3.38nm, Rmax 13.07nm이며 이는 마더의 면이 경면 실리콘 웨이퍼 기판면 위에 reflow된 곡면이므로, 이를 electroforming 하여 제작된 금형 표면 또한 경면으로 제작됨을 보여주는 것이다. 이는 기존의 고가의 연삭 기술을 적용하지 않고도 실리콘 웨이퍼와 같은 저가의 마더를 통해 쉽게 표면 품질이 우수한 금형을 제작할 수 있음을 보여준다. Electroforming 공정중 초기단계에서 불순물의 집착과 수소발생에 따른 pits 발생에 기인하여 Rmax 값의 상승을 유발하며 따라서 이런 초기 electroforming 공정을 정밀하게 제어할 수 있다면 더욱 더 우수한 표면 품질을 얻을 수 있으리라 기대된다. 성형품의 경우, Ra 3.82nm, Rmax 29.91nm의 표면 거칠기를 지니고 있으며, 공정중 미세 진동 및 접촉에 의해 발생하는 먼지와 긁힘 현상을 방지함으로써 개선될 수 있으리라 사료된다.

## 6. 결론

본 연구에서는  $250\mu\text{m}$  피치간격의 직경  $45\mu\text{m}$ 의 렌즈 어레이와 직경  $95\mu\text{m}$ 의 렌즈어레이를 몰딩하기 위한 니켈

몰드인서트를 electroforming 공정을 통하여 제작하였다.  $100\mu\text{m}$ 이하의 미세형상을 성형하기 위하여 고압 고온 공정에 적합한 금속 몰드가 필요하고 광학 부품을 성형하기 위해서는 몰드면의 표면품질이 우수해야한다. 이에 본 연구에서는 electroforming 공정을 통해 표면 품질이 우수한 니켈 몰드를 제작하였다. 성형실험을 통해 제작된 광부품은 간섭기술을 통해 측정해 본 결과, 성형된 렌즈는 마더면을 정확하게 전사되고 있음을 알 수 있었다. 또한 AFM을 통해 표면거칠기를 측정한 결과, 몰드면 및 성형품의 표면거칠기가 각각 Ra 3.38nm, 3.82nm로 측정되어 표면 품질이 우수함을 알 수 있었다. 따라서 마이크로 렌즈 어레이의 양산을 위해서는 Electroforming을 통해 제작된 금속 몰드가 적합하다고 사료된다. 현재 성형된 마이크로 렌즈의 광학적 특성 향상 및 신뢰성 향상에 대한 연구가 진행 중에 있다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단지정 정보저장기연구센터의 지원(과제번호: 2002G0203)으로 이루어졌습니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Popovic, Z. D., Sprague, R. A., and Neville Connell, G. A. 1988, "Technique for monolithic fabrication of microlens array", *Applied Optics*, Vol. 27, pp. 1281~1284.
- (2) Stern, M. B., and Jay, T. R., 1994, "Dry etching for coherent refractive microlens array", *Opt. Eng.* Vol.33, n11, pp. 3547~3551.
- (3) Mihailov, S., and Lazare, S., 1993, "Fabrication of refractive microlens array by eximer laser ablation of amorphous Teflon", *Applied Optics*, Vol. 32, No. 31, pp. 6211~6218.
- (4) Moon, S., Ahn, S., Kang, S., Choi, D., and Je, T., 2001, "Fabrication of refractive and diffractive plastic micro-optical components using microcompression molding", *Device and Process Technologies for MEMS and Microelectronics II*, Vol. 4592, pp. 140~147.
- (5) Moon, S., and Kang, S., 2002, "Fabrication of polymeric microlens of hemispherical shape using micromolding", *Optical Engineering*, in press.