

## 투명 아크릴 레진을 이용한 초소형 PMMA 렌즈 배열의 제작

안시홍, 김용권  
서울대학교 전기공학부

### Fabrication of refractive PMMA microlens array using transparent acrylic resin

Si-Hong Ahn and Yong-Kweon Kim  
School of Electrical Engineering, Seoul National University

#### Abstract -

PMMA(poly-methyl methacrylate) microlens array is fabricated using transparent acrylic resin. PMMA is commonly used material for plastic lens due to its excellent visibility larger than 90% and other optical characteristics so much close to those of glass.

Orthodontic resin (DENTSPLY International Inc.), commonly used in dentistry, is an transparent acrylic resin kit including MMA liquid and polymerization powder. Their mixture results in PMMA through polymerization.

Using the resin PMMA layer is formed on the substrate through spin-coating. Designed pattern of lens structure is transferred to PMMA layer by RIE (Reactive Ion Etching) with oxygen plasma. Final lens shape is formed by thermal treatment that causes PMMA to reflow. The thickness of PMMA spun on the substrate is  $17\mu\text{m}$  that is also final sag of microlens. Designed diameters of the microlenses are  $200\mu\text{m}$ ,  $300\mu\text{m}$ , and  $500\mu\text{m}$ , respectively.

#### 1. 서 론

미세가공 기술의 발달과 함께 이를 이용한 초소형 렌즈의 제작 및 연구도 매우 활발히 진행되고 있다. 종래에는 팩시밀리, 바코더 스캐너, 레이저 프린터, 프로젝터 등에의 이용을 목적으로 주로 연구되던 것이 광 기록 장치, 광섬유를 이용한 광통신 등 새로운 응용 분야의 등장으로 더욱 광범위한 설계와 제작 공정들이 연구되어가고 있다.

현재까지 보고된 초소형 렌즈의 제작 방법은 그 종류가 매우 다양하다. 크게 나누어 기판을 직접 가공하는 방법과 구조층을 적층하여 가공, 제작하는 방법이 있다. 기판 직접 가공에는 레이저를 이용한 유리기판 가공[1, 2], 플라즈마에 의한 기판 전식 식각 가공법[3] 등이 소개되어 있다. 한편 기판 상에 열도의 구조층을 적층하여 렌즈를 형성하는 방법으로는 컴퓨터 제어에 의한 ink-jet 방식으로 droplet을 형성하여 렌즈를 제작하는 방법[4], 실리콘 몰드를 이용하는 플라스틱 몰딩법[5], 니켈 몰드를 이용한 plastic intrusion 법[6], 감광제를 열처리하여 reflow하여 제작하는 법[7] 등이 있다. 이러한 기판 직접 가공법 또는 몰딩에 의해 초소형 렌즈를 제작하는 경우 다른 구동부를 동일 기판 상에 제작하는 것이 쉽지 않으며, 감광제를 사용하는 경우 낮은 광투과율과 효율성을 극복하는 데에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 투명 아크릴 레진을 선택하여 초소형 렌즈를 제작함과 동시에 MEMS 공정의 재료로서의 가능성을 시험해 보았다.

PMMA(poly-methyl methacrylate)는 이미 기존의 플라스틱 렌즈 재료로서 널리 사용되고 있는 물질로서 90%이

상의 광 투과율과 유리와 흡사한 굴절률 등 렌즈의 재료로서 훌륭한 물성을 지니고 있다. LIGA process에서 사용되는 sheet 형태의 PMMA 와 달리 본 연구에서는 MMA liquid와 중합제로 이루어진 아크릴 레진 키트를 이용하여 PMMA 렌즈를 제작한다. 아크릴 레진은 특히 치과 의료용으로 널리 사용되고 있으며 가시광선 또는 UV광선에 의해 중합되는 광중합형 레진과 중합제 첨가에 의해 중합이 이루어지는 화학중합형 레진이 있다. 본 연구에서 렌즈 제작을 위해 사용된 아크릴 레진은 Dentsply International Inc.의 orthodontic resin이다. 중합제 파우더와 MMA liquid를 혼합하면 중합이 시작되어 투명한 PMMA를 형성하면서 일정 점도를 지니게 되며 중합에 소요되는 시간은 혼합비로서 조절된다. 따라서 중합제+MMA의 혼합비와 스픬 코팅시 회전 속도에 의해 재현성 있는 두께의 PMMA layer를 얻을 수 있다.

#### 2. 초소형 렌즈의 제작.

그림 1에 렌즈 제작 공정도를 나타내었다. MMA liquid와 중합제의 혼합비는 5:1이며 중합이 시작되어 형성된 아크릴 레진은 밀봉된 상태에서 일정 점도를 상당 시간 유지한다. 기판 상에 스픬 코팅에 의해 도포된 아크릴 레진은 회전 속도 500rpm, 회전 시간 10초의 조건에서  $17\mu\text{m}$  두께의 PMMA 층을 형성한다(그림 1.(a)). PMMA 층은 annealing을 위해 열처리 과정을 거치게 되며 이 과정에서 1차 reflow하여 막의 표면은 더욱 평탄화 된다. 이어서 3000Å 두께의 Ti 또는 Al 막이 가열 진공 증착되며 이 금속 박막은 이후의 전식 식각 공정에서 식각 마스크로 사용된다. 사전 식각 공정을 통하여 렌즈 배열이 패턴이 금속 박막 위에 형성되며, O<sub>2</sub> plasma를 이용한 반응성 이온 식각을 통해 cylinder 형태의 구조물을 만들 수 있다(그림 1.(d)). 식각 조건은 챔버 압력 50mTorr, O<sub>2</sub> 유량 50sccm, RF power 200W이며 식각율은 약  $0.5\mu\text{m}/\text{min}$  이다.

본 연구에서 설계된 렌즈의 직경은 각각  $200\mu\text{m}$ ,  $300\mu\text{m}$ ,  $500\mu\text{m}$ 이며 각 크기의 렌즈들은  $5\times 5$ 의 배열을 이루고 있다. 100:1 HF 회색액으로 Ti을 제거하고 (그림 1.(e)), 오븐에서 220°C 온도로 열처리를 하면 열가소성 수지인 PMMA가 녹아 reflow가 일어나면서 실린더 형태의 구조물이 렌즈 형상으로 바뀌게 된다. 열처리 공정 중 시간별 구조물 형상 관찰을 통해 공정 종결점을 찾았으며 직경  $200\mu\text{m}$ ,  $300\mu\text{m}$  그리고  $500\mu\text{m}$ 의 실린더 구조물에 대해 각각 30분, 45분, 75분의 열처리 공정을 거친다. 열처리 온도를 더 높일 경우 공정 시간이 짧아지나 과다한 가열에 의해 PMMA구조물이 소실될 수도 있다.

#### 3. 렌즈 제작 결과

Laser profilometry를 이용하여 측정된 렌즈의 형상을 그림 2에 나타내었다. 열처리 공정을 통해 PMMA가 reflow하여 최초의 설계되었던 렌즈 직경보다 커졌으며, 최종 직경은 각각  $253.5\mu\text{m}$ ,  $377\mu\text{m}$ ,  $514.8\mu\text{m}$ 가 되었다. 렌즈의 최종 sag는 초기 PMMA의 두께를 유지하고 있으

며, 열처리 온도 및 시간을 조정하여 렌즈 직경 및 곡률 등을 변경할 수 있다.

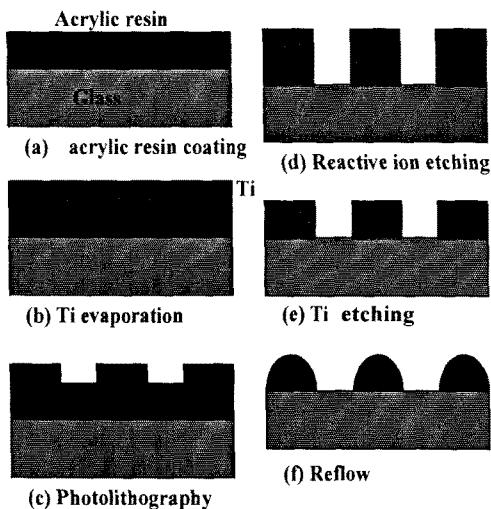
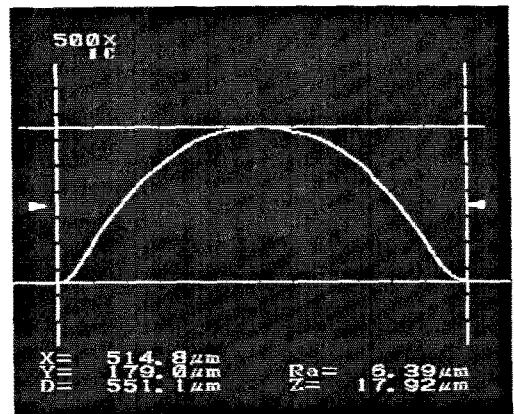


그림 1. 초소형 PMMA 렌즈 제작 공정도

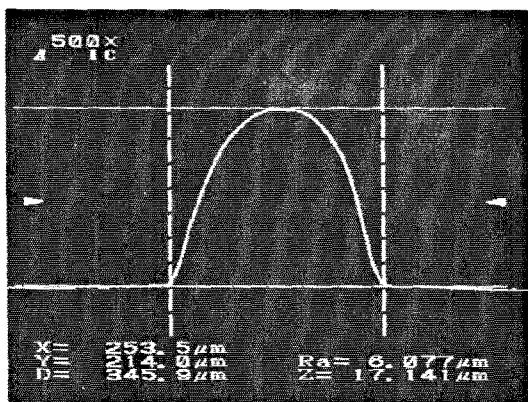


(c) 열처리 후 렌즈 직경  $514.8 \mu\text{m}$

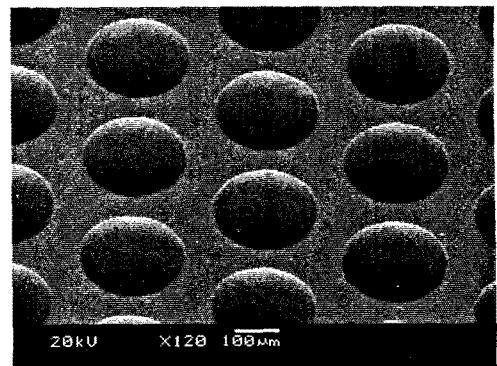
그림 2. 열처리 후 렌즈의 곡면 형상

그림 3은 제작된 초소형 렌즈 배열의 주사 현미경 사진이다. 사진에서 보이는 렌즈 면의 상태는 매우 양호하며 배열 내의 렌즈들 간의 형상들은 균일성을 보여준다.

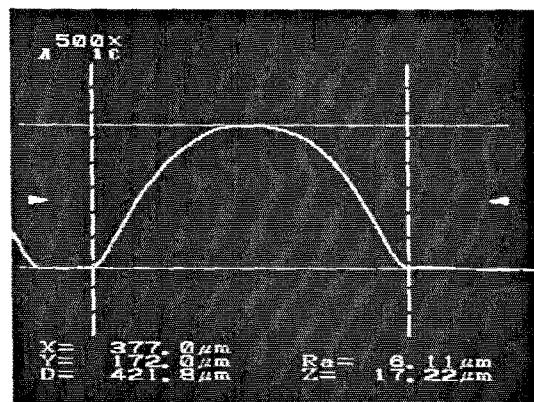
측정된 렌즈의 곡면으로부터 곡률 반경을 계산하고 다시 이로부터 초점거리 및 focal ratio를 계산할 수 있다. 계산된 결과는 아래 표 1과 같다.



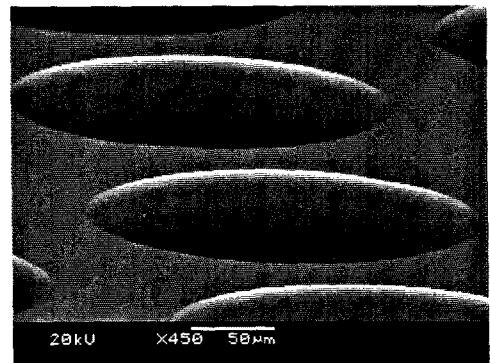
(a) 열처리 후 렌즈 직경  $253.5 \mu\text{m}$



(a) 열처리 후 렌즈 직경  $253.5 \mu\text{m}$  인 렌즈 배열



(b) 열처리 후 렌즈 직경  $377 \mu\text{m}$



(b) 확대 사진

그림 3. 제작된 초소형 PMMA 렌즈 SEM 사진

표1 제작된 초소형 PMMA렌즈의 크기 및 특성

렌즈 직경 (열처리 전)	200 $\mu\text{m}$	300 $\mu\text{m}$	500 $\mu\text{m}$
렌즈 직경 (열처리 후)	253.5 $\mu\text{m}$	377 $\mu\text{m}$	514.8 $\mu\text{m}$
sag (Lens height)	17.14 $\mu\text{m}$	17.22 $\mu\text{m}$	17.92 $\mu\text{m}$
Focal length	595 $\mu\text{m}$	983 $\mu\text{m}$	2040 $\mu\text{m}$
Focal ratio (f/#)	2.35	2.61	3.96

렌즈 제작시 사용된 아크릴 레진의 중합제 파우더는 입자 자체가 투명하며 굳은 상태의 PMMA 구조물 내부에서는 보이지 않게 되나, 스펀 코팅에 의해 적층할 경우 표면 상태를 거칠게 하는 경우가 있다. 또한 최종 제작된 렌즈 배열 중 일부 렌즈는 렌즈 표면에 파우더 입자가 뛰어 나와 있는 경우가 종종 발견되었다. 이러한 문제는 추후 렌즈의 입사 광선에 대한 난반사를 유발하여 렌즈의 효율을 떨어뜨리게 된다. 따라서, 중합제 파우더를 사용하는 대신 UV 광선 또는 가시 광선에 의해 중합되는 광중합형 아크릴 레진을 사용하면 표면 상태를 개선할 수 있다. 또는 스펀 코팅 후 형성된 PMMA 층을 polishing 하는 공정을 추가할 수도 있다.

그림 4는 유리 기판 위에 제작된 최종 직경 253.5 $\mu\text{m}$ 의 초소형 렌즈 배열에 빛을 조사하였을 때 생긴 초점을 찍은 것이다. 중앙의 또렷한 초점 주위의 흐릿한 부분은 렌즈 상단의 조사광이 반사되어 생긴 반사광이다.

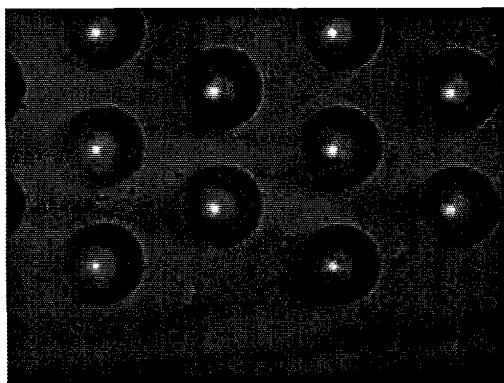


그림 4. Lens spots

### 3. 결 론

투명한 아크릴 레진을 사용하여 초소형 렌즈 배열을 제작하였다. 열처리 공정을 거쳐 제작된 렌즈의 형상을 측정하고 이로부터 곡률 반경 및 초점 거리 등을 계산하였다. 종전의 초소형 렌즈 제작 방법 및 재료들과 비교할 때 아크릴 레진을 투명하므로 높은 광효율을 기대할 수 있고, 기존의 반도체 공정에도 잘 부합한다. 따라서, 구동기 등과 함께 동일 기판 상에 초소형 렌즈를 제작하

여 광소자를 제작하는 데 매우 적합하다.

### (참 고 문 헌)

- [1] M. Wakaki, Y. Komachi, and G. Kanai, Microlens and microlens arrays formed on a glass plate by use of a CO<sub>2</sub> laser, *Appl. Opt.*, Vol. 37, No. 4, 1998, pp.627-631.
- [2] M. Fritze, M. B. Stern, and P. W. Wyatt, Laser-fabricated glass microlens arrays, *Opt. Lett.*, Vol. 23, No. 2, 1998, pp.141-143.
- [3] Margaret B. Stern and Theresa R. Jay, Dry etching for coherent refractive microlens arrays, *Opt. Eng.*, Vol. 33, No. 11, 1994, pp.3547-3551.
- [4] S. Biehl, R. Danzebrink, P. Oliveira and M. A. Aegeuter, Refractive Microlens Fabrication by Ink-Jet Process, *J.Sol-Gel Science and Technology*, 13, 1998, pp.177-182.
- [5] U.Köhler, A. E. Guber, W. Bier, M.Heckele, Fabrication of microlens by plasmaless isotropic etching combined with plastic moulding, *Sensors and Actuators A* 53, 1996, pp.361-363.
- [6] Li-Wei Pan, Liwei Lin, and Jun Ni, Cylindrical Plastic Lens Array Fabricated by A Micro Intrusion Process, *Technical Digest of MEMS99*, Orlando, USA, January 1999, pp.217-221.
- [7] Zoran D. Popovic, Robert A. Sprague, and G. A. Neville Connell, Technique for monolithic fabrication of microlens arrays, *Appl. Opt.*, Vol. 27, No. 7, 1988, pp.1281-1284.