

X-선 사진식각공정을 이용한 마이크로렌즈의 제작

정석원, 박광범, 김건년, 이보나, 김인희, 문현찬, 박효덕, 홍성제, 박순섭, 신상모
전자부품연구원

Fabrication of Microlenses by X-ray Lithography

S. W. Jung, K. B. Park, K. N. Kim, B. N. Lee, I. H. Kim, H. C. Moon, H. D. Park, S. J. Hong,
S. S. Park, S. M. Shin

Abstract - 본 연구에서는 3차원 회전체 구조물을 제조하기 위해 회전노광장치를 설계하여 제작하고 마이크로렌즈 제작용 X-선 마스크와 PMMA 기판을 정밀하게 회전시켜 노광함으로써 3차원의 마이크로렌즈를 제작하였다. 제작된 마이크로렌즈의 크기는 직경이 50~700 μm이었고, 또한 이러한 방법으로 원통형 렌즈, 계란형 렌즈 등을 제작함으로써 X-선 사진식각공정으로 정밀도가 높은 다양한 3차원의 회전체 구조물을 제조하는 방법을 제시하였다.

있는 기판을 회전축에 나란히 정렬한 후 마스크는 고정시킨 채 기판을 그림과 같이 -90° ~ 90° 로 회전시키면서 노광한 후 현상하게 되면 그림과 같은 반구형태의 마이크로렌즈가 제작된다.

1. 서 론

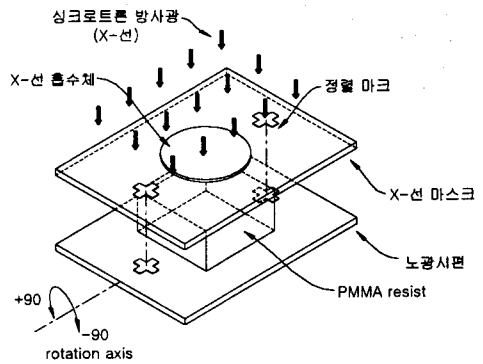
최근 산업화에 적용하기 위한 수 많은 초소형 정밀 가공기술이 개발되었고, 이중 LIGA 기술은 3차원의 미세구조물의 대량생산에 가장 적합하고 전망있는 기술로 각광을 받고 있다. LIGA 기술은 X-선을 이용하는 deep lithography, electroforming, plastic molding 기술을 포함한다[1]. 종래의 LIGA 구조물은 X-선 사진식각공정시 수직 노광에 의한 수직 구조물의 제작이 주류를 이루고 있으며, 일부 기판을 경사지게 하여 노광함으로써 수직방향으로 변화를 갖는 구조물의 제작에 관한 연구가 수행되어 왔다[2]. 이러한 공정에서는 원통형 렌즈와 같이 수직의 구조물 제작은 가능하지만 볼형태의 렌즈와 같이 수직방향으로 변화를 갖는 3차원 구조물의 제작은 불가능하다. 독일의 IMM社에서는 X-선 수직노광공정으로 원기둥형태의 구조물을 먼저 제작하고 후속 공정으로 시편을 열처리하여 녹여서 구형렌즈를 제작하는 기법을 개발하였다. 이외에 X-선 사진식각공정이 아닌 deep RIE 공정을 이용하여 원기둥형태로 레지스트를 패터닝한 후 역시 열처리를 통하여 마이크로렌즈를 제작하는 방법이 연구되고 있다[3]. 그러나 이러한 방법에서는 구 형태의 렌즈는 제작가능하나 비구면렌즈와 같이 렌즈표면의 형상을 임의로 가공하는 것은 불가능하다. 또한 렌즈가 열처리 기법에 의해 제작되므로 공정 조건이 까다롭고 제작할 수 있는 렌즈의 크기를 자유롭게 할 수 없다.

본 연구에서는 X-선 마스크를 고정시킨 채 기판을 회전시키면서 직접 X-선을 노광시킴으로써 고정밀도가 요구되는 마이크로렌즈와 같은 3차원 회전체 미세구조물을 제작하고 기존의 통상적인 노광기술로 구현하기 힘든 다양한 3차원의 미세구조물을 제작하고자 하였다.

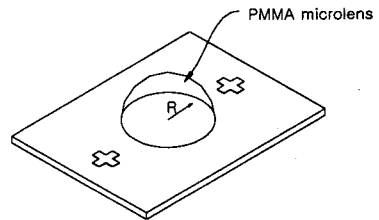
2. 본 론

2.1. 제작 원리

그림 1은 X-선 사진식각공정으로 구형 마이크로렌즈와 같은 3차원의 구조물을 제작하기 위한 제작원리를 나타내는 제조공정도를 나타낸 것이다. 그림에 나타낸 바와 같이 X-선 노광시 마스크와 레지스트가 형성되어



(a) 노광공정



(b) 현상공정

그림 1. X-선 사진식각공정을 이용한 마이크로 렌즈 제조공정도

2.1. 노광 및 현상

그림 2는 마이크로렌즈를 제작하기 위한 노광장치로서 이 장치에는 X-선 마스크와 시편과의 정렬이 가능하고 노광시 시편을 회전시킬 수 있도록 제작되어 있다. X-선 노광용 마스크는 실리콘 질화막(SiN)이 형성된 Si 기판상에 Au 전기도금공정 및 Si bulk 식각공정을 통해 제작하였다.

그림 3은 제작된 X-선 마스크로서 X-선 흡수체로 Au를 전기도금 공정으로 형성시켰고 기판 뒷면의 Si를 KOH로 식각하여 SiN membrane만 남게 하여 X-선이 잘 투과하도록 하였다. 그림에서 SiN membrane 위에 제작하고자 하는 마이크로렌즈의 패턴이 Au로 형성되어 있는 것을 볼 수 있다.

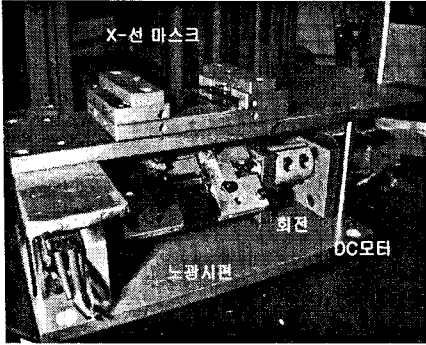


그림 2. 회전노광장치

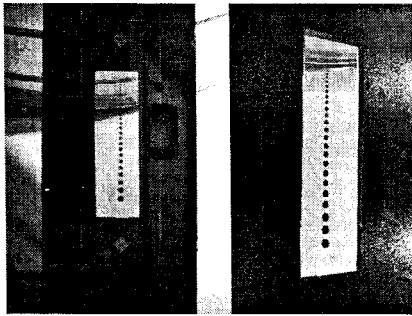


그림 3. X-선 마스크
(좌 : 앞면, 우 : 뒷면)

노광시편은 제작될 마이크로렌즈의 직경을 고려하여 일정 두께와 크기를 갖도록 PMMA를 Si 기판 위에 형성하였다. PMMA의 노광량은 PMMA 바닥에 축적된 에너지가 충분하도록 노광하였다.

그림 4는 노광 및 현상후 제작된 마이크로렌즈 array를 나타낸 것이다. 마이크로렌즈의 크기는 직경이 50~700 μm 이었으며, 300 μm 이하의 크기가 작은 렌즈는 PMMA와 기판간의 밀착력이 좋지 않아 현상공정 중에 기판에서 떨어졌다.

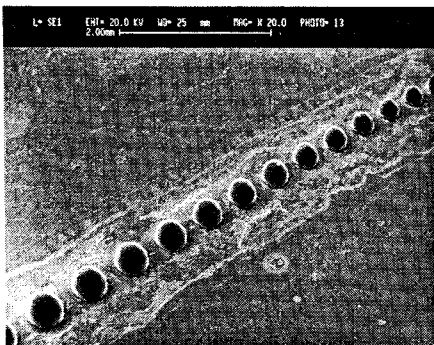


그림 4. 제작된 마이크로렌즈 array

정교한 마이크로렌즈가 제작되기 위해서는 시편의 회전축과 시편간의 정렬, 그리고 X-선 마스크와 시편간의 정렬이 매우 중요하다. 그러나 본 실험에서는 회전축, X-선 마스크, 시편간의 정렬시 misalign에 의해 제작된 마이크로렌즈의 형상이 완전한 구형으로 구현되지 못한 것을 볼 수 있었다. 또한 PMMA의 노광 또는 현상이 부족하여 그림 5처럼 마이크로렌즈의 상부가 완전한

구형이 아닌 것을 볼 수 있고 반면 노광이 너무 과하여 그림 6에서 보듯이 비교적 구형에 가까운 형상을 얻었지만 마이크로렌즈 표면의 PMMA 조직이 파괴되어 온도변화를 겪은 후 표면이 갈라진 것도 볼 수 있었다. 그림 7은 제작된 마이크로렌즈의 표면을 촬영한 사진으로 AFM 측정결과 표면조도는 약 60nm 정도로 나타났으며 광학용으로 사용이 충분할 것으로 판단된다.

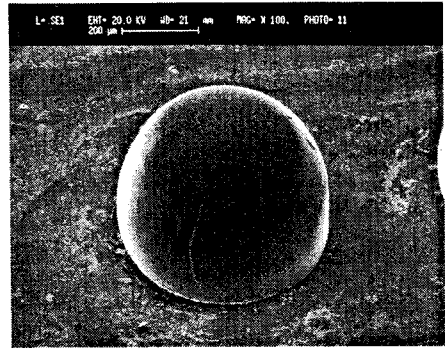


그림 5. 제작된 구형 마이크로렌즈
(직경 : 약 600 μm , 노광 및 현상부족)

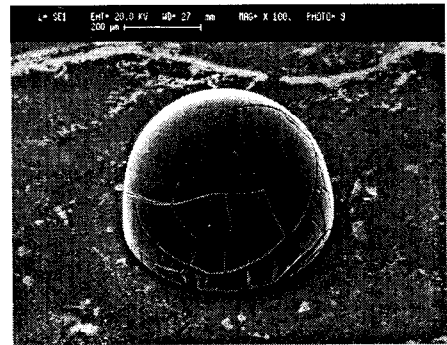


그림 6. 제작된 구형 마이크로렌즈
(직경 : 약 600 μm , 노광과다)

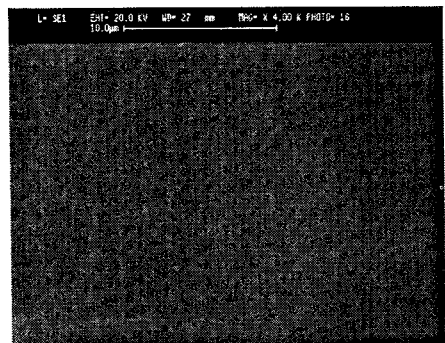


그림 7. 제작된 마이크로렌즈의 표면

한편 본 제작방법을 통하여 그림 8과 같이 구형의 마이크로렌즈 이외에 완벽하진 않지만 다양한 3차원 회전체 구조물을 제작하여 보았다. 이 실험을 통해 구형 마이크로렌즈 이외에 원통형렌즈, 계란형렌즈, 그리고 비구면렌즈 등도 제작 가능함을 확인하였다.

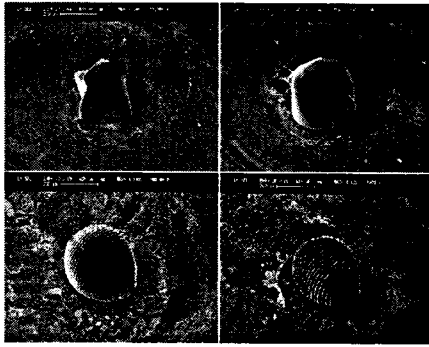


그림 8. 여러 가지 3차원의 회절체 구조물

3. 결 론

X-선 사진식각공정시 회절노광기법을 이용하여 기존의 노광기술로 구현하기 어려운 마이크로렌즈 등 3차원 미세구조물을 제작하였다. 제작된 마이크로렌즈의 크기는 직경이 $50\sim 700\mu\text{m}$ 이었고, 보다 정교한 마이크로렌즈를 제작하기 위해서는 X-선 마스크와 기판간의 정렬정밀도 향상 및 PMMA 노광조건을 개선하기 위한 연구가 필요하다. 본 연구를 통해 X-선 사진식각공정으로 고정밀도의 다양한 3차원의 마이크로렌즈를 제작할 수 있으며, 향후 LIGA 기술을 이용한 각종 3차원 미세구조물의 실현뿐만 아니라 각종 micro-optic 소자 제작에 획기적인 제조방법으로 사용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 정통부 정보통신선도기반기술개발사업에 의한 것으로 이에 감사 드리며, 방사광가속기 사용에 도움을 주고 계신 포항가속기연구소 관계자 분들께도 깊은 감사를 드립니다.

(참 고 문 헌)

- [1] E. W. Becker et al., *Microelectronic Engineering*, vol. 4, pp. 35-56, North-Holland, 1986
- [2] H. Lehr et al., "LIGA-Only limited by our imagination", LIGA news Fourth Issue, April 1996
- [3] S. H. Ahn et al., "Fabrication of PMMA refractive microlens array using transparent acrylic resin", MOEMS99, pp. 190-193, 1999