

355nm UV 레이저를 이용한 음성PR의 마이크로 렌즈 어레이 제작

Fabrication of Micro Lens Array on Negative Photo-resist by 355nm UV Laser Irradiation

*제순규¹, 박강수², 박상후³, 고종수³, 오재용⁴, 김광열⁵, *신보성²

*S. K. Je¹, K. S. Park², S. H. Park³, J. S. Ko³, J. Y. Oh⁴, K. R. Kim⁵, *B. S. Shin(bosung@pnu.edu)²

¹부산대학교 하이브리드소재솔루션, ²부산대학교 ERC/NSIM, ³부산대학교 기계공학부, ⁴SFA Engineering Corporation, ⁵한양대학교 정보전자컴퓨터공학부

Key words : microlens array, negative photo-resist, 355nm UV laser

1. 서론

마이크로렌즈 어레이 (micro-lens array, MLA)는 일반적으로 직경이 수십 마이크로미터 내지 수백 마이크로미터 정도의 렌즈들이 바둑판 모양으로 배열된 것을 말한다. 이러한 MLA는 광커넥터, WDM 광통신 모듈, 차세대 광정보저장기기, 영사기 (projection display), 광출력단속기 (luster power regulator), 초미세 물질분석기, 의료용 진단기 등의 차세대 고부가가치 제품 개발의 주요 부품이다.

최근에는 변형 LIGA 공정을 이용한 MLA 제작 방법¹⁾, 몰드를 이용하여 적절한 압력과 온도 조건에서 유리 마이크로렌즈를 성형하는 방법²⁾, 레이저의 기상 증착 (chemical vapor deposition, CVD)에 의한 MLA 제작 방법³⁾, 강화 유리에 레이저를 이용하여 열풀림 (thermal relaxation)을 이용한 마이크로 렌즈 제작법⁴⁾ 그리고 레이저 어블레이션을 이용한 마이크로렌즈 몰드 제작 방법⁵⁾ 다양한 마이크로 렌즈 제작 방법들이 연구되고 있다. 그리고 이러한 제작 공정들은 재료의 특성에 많은 영향을 받으며 대부분은 PMMA 혹은 유리 재료를 사용한다. 그러나 이러한 가공들은 비용이 많이 들고, 시간이 오래 걸리며 마스크가 필요하거나 리플로우와 같은 후처리 공정이 필요한 가공이다.

우리는 기존의 연구에서 레이저를 이용한 국부적 열팽창 (LLTE : laser local thermal-expansion)을 활용하여 MLA를 제작하였다.⁶⁾ 기존의 연구에서는 UV레이저를 음성 PR의 일종인 SU-8의 표면에 국부적으로 가열하면 팽창하는 현상을 실험적으로 검증하였다. 그리고 제작된 MLA의 형상을 표면 측정하여 열팽창에 의한 MLA의 최적가공조건을 규명하였다. 따라서 이번 논문에서는 또 다른 음성 PR인 THB를 이용하여 MLA제작을 연구하였다. 그리고 제작된 MLA의 형상을 측정하여 최적가공조건을 찾고 기존에 실험한 SU-8과 비교, 분석하여 MLA제작의 최적조건을 규명하였다.

2. 이론적 배경

재료의 표면에 레이저가 조사되면 광열적인 영향과 광화학적 영향에 의해 재료는 가열, 증발, 화학적 분해에 의해 어블레이션 (ablation)이 일어나게 된다.⁷⁾ 논문에서는 재료에 어블레이션이 야기되지 않고 국부적으로 가열만 하는 문턱값 (threshold) 이하의 낮은 에너지의 레이저만 조사하여 열팽창을 유도하였다. 고분자 물질의 자유체적이론 (free volume theory)에 따르면 자유체적은 고체 또는 액체 상태에서 고분자 분자에 의해 차지하지 않은 공간, 즉 분자들 사이의 빈 공간이다. 분자들이 운동이 활발하면 자유체적이 크고 온도가 낮아지면 열에너지가 낮아져 분자의 운동이 줄어들고 따라서 자유체적은 감소한다. 따라서 열팽창계수와 자유체적은 거의 비례관계에 있다. 그리고 온도가 Tg(유리전이온도)에 도달하면, 분자의 이동은 불가능하고, 분자는 진동 등의 운동만이 가능하다. 따라서 고분자 물질은 유리전이 온도에서 부피 팽창계수의 큰 변화가 일어나며, 융점 부근에서는 결정의 용해로 인해 급격하게 부피가 증가된다. 그리고 이러한 팽창은 분자가 고온에서 공간을 자유로이 운동하기 전이며 물리적 구조가 변하기 전이므로 분자가 열화되는 것은 화학구조가 변화되었

다고 볼 수 있다.

본 논문에서 제안하는 마이크로렌즈어레이의 제작의 기본원리는 고분자 물질의 열적 팽창현상을 이용한 것이다. 레이저가 포커싱 (focusing)된 영역에 대하여 재료는 국부적으로 광에너지를 흡수하고 가열되어 열팽창이 유도된다. 그리고 갈바노 스캐너 (galvano scanner)에 의해 빔은 고속으로 이동되어 MLA를 만들어 낸다.

3. 실험 장치

본 실험에 사용된 레이저는 355nm UV 펄스 레이저로 펄스 반복률 30kHz, 펄스폭 20nsec, 평균 출력 3W이다. 출사빔은 TEM₀₀ 모드로 가우시안 에너지 분포이며 직경은 1.5mm(1/e²)이다. Fig. 1은 레이저 장비 사진으로 발진기에서 나온 레이저는 반사미러 (mirror)를 거쳐 빔익스팬더 (beam expander)에서 1-8배 확대되며 감쇄기 (attenuator)에서 일정 에너지 감쇄 후 갈바노 스캐너 (galvano scanner)로 입사되며 F-θ렌즈에서 초점 크기 (spot size) 약 20 μm로 포커싱되어 재료의 표면에 조사된다.

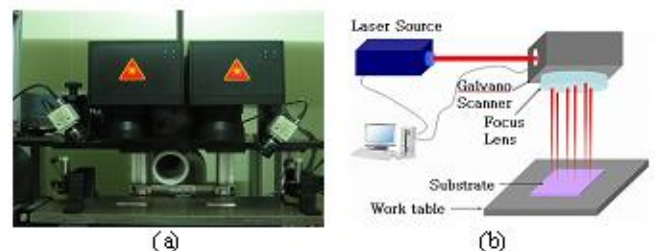


Fig. 1 Laser processing system, (a) setup and (b) schematic

4. 실험결과 및 고찰

THB 재료의 표면에 어블레이션이 없이 열팽창만 유도하기 위해서 문턱값보다 낮은 에너지를 조사하였다. 실험적으로 THB의 문턱값을 측정한 결과 0.41 J/cm²이었다. 그리고 부풀어 오를 만큼 열팽창이 유도되기 시작한 레이저 플루언스는 0.23 J/cm²이었으며 이보다 낮은 경우 재료의 표면에는 변화가 없었다. 정확한 형상 측정을 하기 위하여 비접촉식 표면 프로파일 측정기(나노시 시스템 : nanoview)를 사용하여 측정하였다. Fig. 2는 열팽창이 시작되기 시작하는 지점인 0.23 J/cm² 부터 문턱값인 0.41J/cm² 이 될 때까지의 THB의 표면에 형성된 마이크로렌즈 형상으로 각각 50배율로 측정하였으며 마이크로 렌즈간의 간격은 100 μm이다. (a)는 레이저 플루언스 0.23 J/cm² 일 때, 직경 54 μm, 높이 350nm의 마이크로렌즈가 형성되었음을 알 수 있으며, (b)는 레이저 플루언스 0.26 J/cm² 일 때, 직경 55 μm, 높이 1.1 μm, (c)는 레이저 플루언스 0.28 J/cm² 일 때, 직경 56 μm, 높이 1.3 μm, (d)는 레이저 플루언스 0.31 J/cm² 일 때, 직경 58 μm, 높이 1.6 μm, (e)는 레이저 플루언스 0.35 J/cm² 일 때, 직경 59.5 μm, 높이 1.9 μm, 그리고 (f)는 레이저 플루언스 0.38 J/cm² 일 때, 직경 61 μm, 높이 2.3 μm의 MLA가 제작되었다. 레이저 플루언스가 증가하면 높이와 직경이 조금씩 커지는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 측정된 레이저 플루언스에 변화에 따라 형성된 마이크

로렌즈 단면 형상이다. 플루언스가 증가함에 따라 마이크로렌즈의 반경과 높이가 증가하는 것을 알 수 있다.

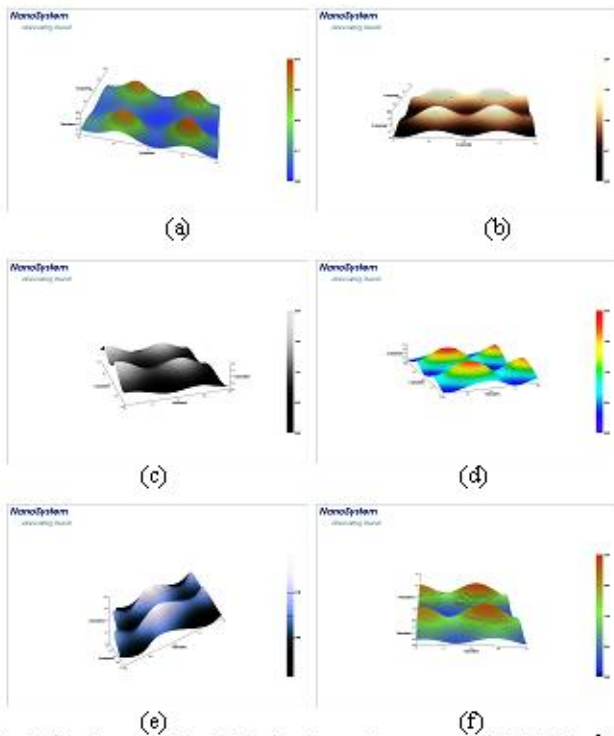


Fig. 2 Surface profile of MLA at laser fluence of (a) $0.23\text{J}/\text{cm}^2$, (b) $0.26\text{J}/\text{cm}^2$, (c) $0.28\text{J}/\text{cm}^2$, (d) $0.31\text{J}/\text{cm}^2$, (e) $0.35\text{J}/\text{cm}^2$ and (f) $0.38\text{J}/\text{cm}^2$ on THB

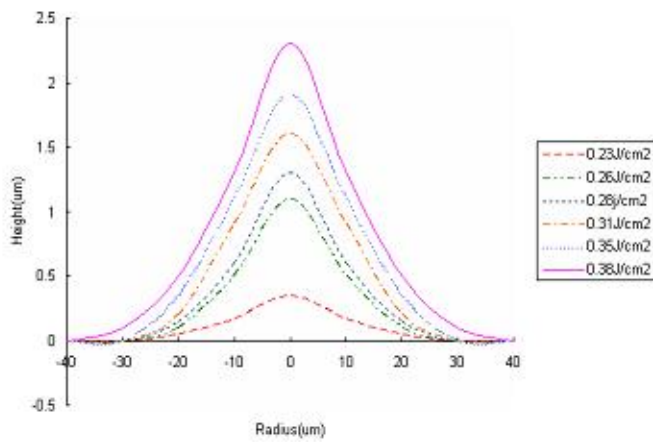


Fig. 3 Cross profiles of microlens with respect to laser fluence

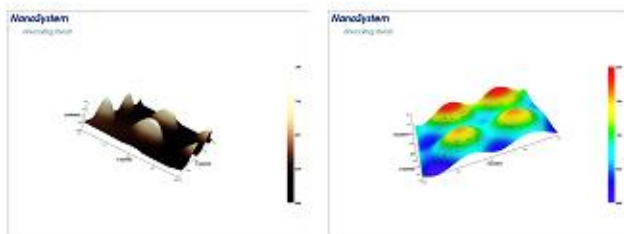


Fig. 4 Comparison with optimal surface profiles of MLA according to the type of negative photo-resist material and laser fluence, (a) SU-8, $0.34\text{J}/\text{cm}^2$ and (b) THB, $0.39\text{J}/\text{cm}^2$

Fig. 4의 (a)는 SU-8의 MLA 최적 가공된 사진이며 (b)는 THB의 MLA 최적 가공된 사진이다. THB는 SU-8과 다르게 플루언스 증가에 따라 마이크로렌즈의 높이가 점점 커진다. 그리고 문턱값 $0.41\text{J}/\text{cm}^2$ 을 넘어가면 가공이 시작된다. SU-8보다 직경은 작지만 높이는 2배 이상의 형상을 나타낸다. 즉 주변부에 열평창이 야기되지 않고 가공 면적에 집중되어 SU-8보다 높은 MLA를 만

들어 낸다고 사료된다. Fig.5 는 SU-8과 THB의 최적 MLA의 단면형상이다. SU-8에 비해 THB는 렌즈 직경은 작지만 높이는 더 높은것을 확인할 수 있다.

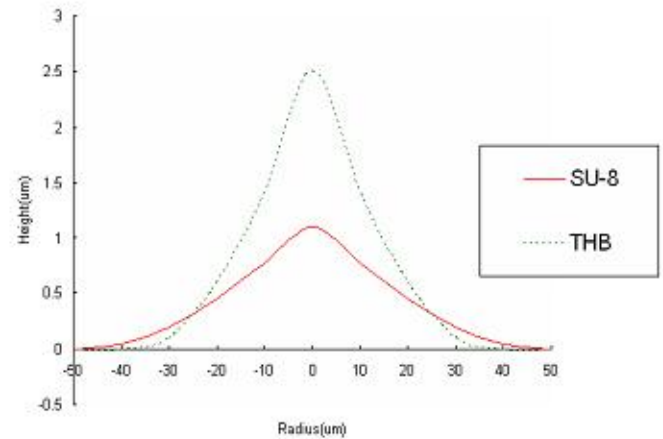


Fig. 5 Optimal cross profiles of microlens according to the type of PR material

5. 결론

본 연구에서는 기존의 열평창을 이용한 MLA 제작 공정을 다른 음성PR에 적용시켜 기존의 MLA와 비교 분석하였다. THB PR의 열평창이 유도되는 플루언스 범위는 $0.23\text{J}/\text{cm}^2 - 0.41\text{J}/\text{cm}^2$ 이었다. 형성된 마이크로렌즈는 최소 반경 $54\ \mu\text{m}$, 최대 반경 $64\ \mu\text{m}$ 이고, 최소 높이 $350\ \mu\text{m}$, 최대 높이 $2.5\ \mu\text{m}$ 였다. 플루언스가 증가할수록 형성된 마이크로렌즈의 높이가 증가하였고 직경도 약간 증가하였으며 이는 주위의 표면에 열평창이 야기되지 않고 가공 면적에 에너지가 집중되어 표면 높이와 직경이 증가하였기 때문이다. 본 연구를 통해서 다양한 물질에 저비용의 직접적인 고속 MLA 성형 공정이 개발될 것이라 생각된다.

참고문헌

1. D.S. Kim, H.S. Lee, B.K. Lee, S.S. Yang, S.S. Lee and T.H. Kwon "Modeling and Replication of Microlens Arrays Fabricated by a Modified LIGA Process", Transactions of Materials Processing, Vol. 15, No. 1, pp. 34-41 (2006)
2. H.D. Bae, M.S. Choi and S.I. Kang "Optimization of Glass Micro Molding Process for Glass Microlens Arrays", The Society of Information Storage Systems, Vol. 2 No. 4, pp. 236-239 (2006)
3. Q. Wang, Y. Zhang, D. Gao "Theoretical study on the fabrication of a microlens using the excimer laser chemical vapour deposition technique", Thin Solid Films, Vol. 287 No. 1-2, pp. 243-246, (1996)
4. N. Kiramura, K. Fukumi, J. Nishii, T. Kinoshita and N. Ohno "Formation of Microdots on the Surface of Densified Silica Glass by Thermal Relaxation", The Japan Society of Applied Physics, Vol. 42 No. 6B, pp. L712-L714 (2003)
5. C.S. Kim, J.D. Kim, K.K. Y., "Microlens Fabrication by using Excimer Laser", Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 20 No. 2, pp. 33-39 (2003)
6. J. Y. Oh, B. S. Shin, K. R. Kim, M. C. Kang, J. S. Go, S. K. Je, "Rapid fabrication of microlens array on the material surface by local thermal-expansion with 355nm UV laser irradiation", Autumn annual proceedings meeting of Korean Society of Laser Processing, pp. 86-91 (2007)
7. B.S. Shin, J.Y. Oh, H. Sohn "Theoretical and experimental investigations into laser ablation of polyimide and copper films with 355nm Nd:YVO₄ laser", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 187-188 No. 12, pp. 260-263 (2007)