

355nm UV 레이저를 이용한 마이크로 렌즈 어레이 쾌속 제작에 관한 연구

제순규¹ · 박상후² · 최춘기³ · 신보성[#]

A Study on Rapid Fabrication of Micro Lens Array using 355nm UV Laser Irradiation

S. K. Je, S. H. Park, C. K. Choi, B. S. Shin

(Received March 23, 2009)

Abstract

Micro lens array(MLA) is widely used in information technology(IT) industry fields for various applications such as a projection display, an optical power regulator, a micro mass spectrometer and for medical appliances. Recently, MLA have been fabricated and developed by using a reflow method having the processes of micro etching, electroplating, micro machining and laser local heating. Laser thermal relaxation method is introduced in marking of microdots on the surface of densified glass. In this paper, we have proposed a new direct fabrication process using UV laser local thermal-expansion(UV-LLTE) and investigated the optimal processing conditions of MLA on the surface of negative photo-resist material. We have also studied the 3D shape of the micro lens obtained by UV laser irradiation and the optimal process conditions. And then, we made chrome mold by electroplating. After that, we made MLA using chrome mold by hot embossing processing. Finally, we have measured the opto-physical properties of micro lens and then have also tested the possibility of MLA applications.

Key Words : Micro Lens Array, Negative Photo-resist, Laser Processing, UV-LLTE(Ultra Violet-Laser Local Thermal Expansion), Chrome Mold, Hot Embossing

1. 서 론

마이크로 렌즈 어레이(MLA, Micro-Lens Array)는 일반적으로 직경이 수십 마이크로미터 내지 수백 마이크로미터 정도의 렌즈들이 바둑판 모양으로 배열된 것을 말한다. 이러한 MLA 는 광 커넥터, WDM (Wavelength Division Multiplexing), 광통신 모듈, 차세대 광 정보 저장기기, 영사기 (Projection display), 광 출력 단속기 (Luster power regulator), 미

세 물질분석기, 의료용 진단기 등의 차세대 고부가 가치 제품 개발의 주요 부품이다.

기존의 MLA 는 주로 반도체 공정을 응용한 미소가공법으로 제작된다. 감광제를 유리 재질의 기판에 도포하고 반도체 공정에서의 사진 식각 공정을 이용하여 원기둥의 형태만 남도록 가공한다. 그 후 열을 가하여 원기둥 형태로 남아있는 감광제를 녹여 표면장력에 의해 감광제가 곡면이 형성되도록 하고, 다시 온도를 낮추어 감광제를 경화시키거

1. 연세대학교 기계공학과 대학원

2. 부산대학교 기계공학과

3. ETRI

교신저자: 부산대학교 ERC/NSDM,

E-mail:bosung@pusan.ac.kr

나 경화시킨 후, 이온 식각을 추가적으로 수행하는 공정에 의해 제작된다. 이를 리플로우 방법(Reflow method) 이라 한다. 일반적으로 감광제는 빛을 투과시키므로 이러한 방법으로도 MLA 를 제작할 수 있지만 사용 목적에 따라서는 유리 이외의 기판을 사용하여 리플로우 방법으로 원형틀을 형성하고 이를 이용하여 복제용 음각 틀을 형성한 후 이 음각 틀을 통해 다수의 MLA 를 복제할 수도 있다. 하지만 형상의 변화에 따른 변형이 어렵고 공정이 복잡하여 쉽게 가공하기 어려운 단점이 있다[1~5].

최근에는 변형 LIGA 공정을 이용한 MLA 제작 방법, 몰드를 이용하여 적절한 압력과 온도 조건에서 유리 마이크로 렌즈를 성형하는 방법, 레이저의 기상 증착(Cheical vapor deposition, CVD)에 의한 MLA 제작 방법, 롤러 스탬핑(Roller stamping) 공정에 의한 MLA 제작법, 광경화성 폴리머를 이용한 스테레오 리소그래피(Stereolithography) 공정에 의한 마이크로 렌즈 제작 방법, 강화 유리에 레이저를 이용하여 열풀림(Thermal relaxation)을 이용한 마이크로 렌즈 제작법, 그리고 레이저 어블레이션을 이용한 마이크로 렌즈 몰드 제작 방법 등 다양한 마이크로 렌즈 제작 방법들이 연구되고 있다[6~12]. 그리고 이러한 제작 공정들은 재료의 특성에 많은 영향을 받으며 대부분은 PMMA 혹은 유리 재료를 사용한다. 그러나 이러한 가공들은 비용이 많이 들고, 대면적화 하기가 어려우며, 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 대면적의 MLA 이 직접적으로 제작 가능성을 보여주었다[13]. 본 논문에서는 UV 레이저를 다양한 음성 PR 에 국부적으로 조사하여 선택적으로 국부 열팽창을 유도하고, 제작된 MLA 형상의 표면을 측정하여 열팽창에 의한 MLA 의 최적가공 조건을 규명하고자 한다. 또한, 만들어진 MLA 에 크롬을 증착시켜 몰드 (Mold)를 제작하고 형상을 측정 및 분석하여 오차를 확인하고자 한다. 그리고 핫엠보싱 (Hot embossing) 공정을 통해 크롬 몰드를 사용하여 대량생산을 위한 MLA 를 성형하였으며, 그 형상을 측정하고 몰드와의 오차도 분석하고, 성형된 MLA 의 광학적 특성을 평가하여 MLA 로서의 가능성을 확인하고자 한다.

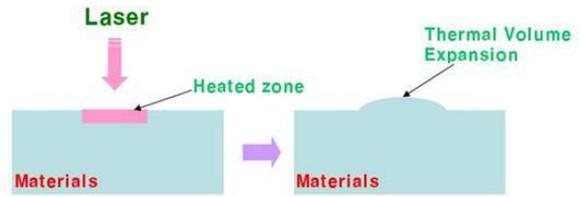


Fig. 1 Principle of LLTE

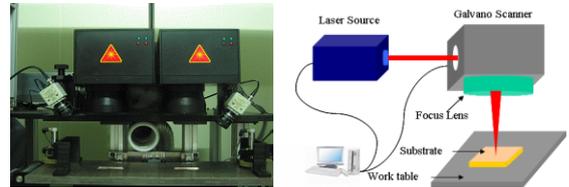


Fig. 2 Pictures of laser machining system setup

2. 이론적 배경

재료의 표면에 레이저가 조사되면 광열적인 영향과 광화학적 영향에 의해 재료는 가열, 증발, 화학적 분해에 의해 어블레이션 (Ablation)이 일어난다[14]. 본 논문에서는 재료에 어블레이션이 야기되지 않고 국부적으로 가열만 하는 문턱값 (Thershold) 이하의 낮은 에너지의 레이저만 조사하여 열팽창을 유도하였다. 이러한 팽창은 분자가 고온에서 공간을 자유로이 운동하기 전이며 물리적 구조가 변하기 전이므로 분자가 열화되는 것은 화학구조가 변화되었다고 볼 수 있다[15]. 본 논문에서 제안하는 마이크로 렌즈 어레이의 제작의 기본 원리는 고분자 물질의 열적 팽창현상을 이용한 것이다. Fig. 1 과 같이 레이저가 포커싱(Focusing)된 영역에 대하여 재료는 국부적으로 광 에너지를 흡수하고 가열되어 열팽창이 유도된다. 그리고 갈바노 스캐너(galvano scanner)에 의해 레이저 빔은 고속으로 이송되어 대면적의 MLA 를 금형없이 (Maskless) 패속제작(Rapid fabraication) 할 수 있게 된다.

3. 실험 내용

3.1 실험 장치

본 연구에 사용된 레이저는 DPSS Laser Inc.의 Series 3500 UV Laser로 Fig. 2 은 레이저 구성 사진이다. 발진기(Resonance cavity), 컨트롤러(Controllor) 그리고 칠러(Chiller)로 구성되어 있으며 컨트롤러는

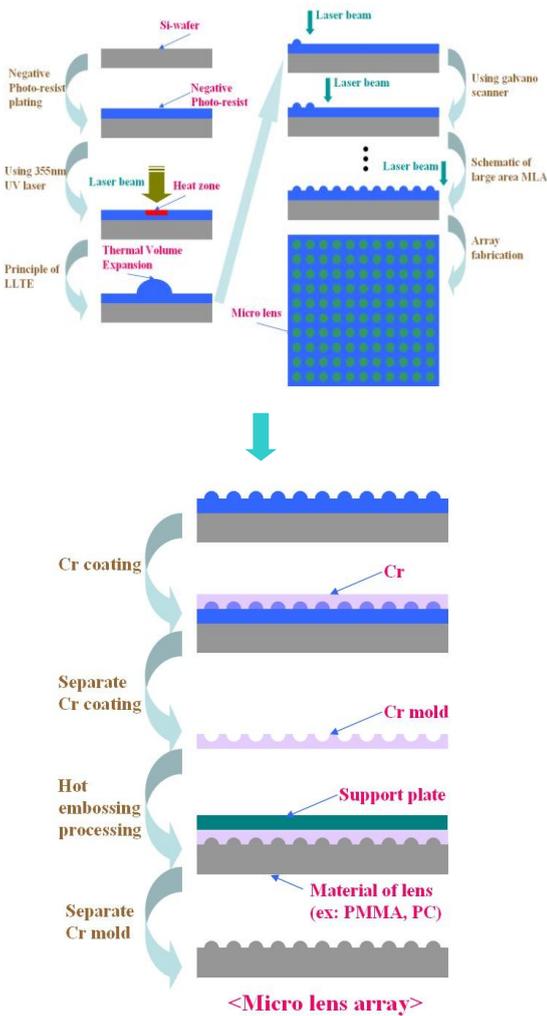


Fig. 3 Proposed fabrication procedures of MLA

컴퓨터와 연결되어 갈바노 스캐너(Galvano scanner)와 연계되어 제어된다. 레이저의 사양은 공진기에서 나오는 초기 빔의 직경은 1.5mm, TEM₀₀ 모드인 가우시안(Gaussian) 빔이고 평균 출력 3.0Watt, 펄스 폭(Pulse duration) 20ns, 펄스 반복율(Repetition rate)은 30kHz이다.

3.2 실험 과정

이번 실험의 전체적인 실험 과정과 실험 내용을 Fig. 3에 나타내었다. 먼저 실리콘 웨이퍼(Silicon wafer)에 음성감광제를 올리기 위해 MEMS공정을 이용하였다. 실리콘 웨이퍼를 클리닝 한 후, 음성감광제를 스핀코팅(Spin coating)한 뒤 베이킹(Baking)과 노광을 하여 가시광선 영역의 빛에 대

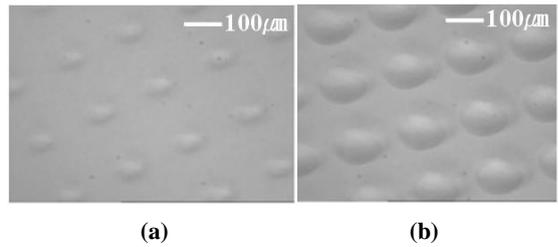


Fig. 4 Pictures of MLA at the laser fluence of, (a) 0.31 J/cm², (b) 0.38 J/cm²

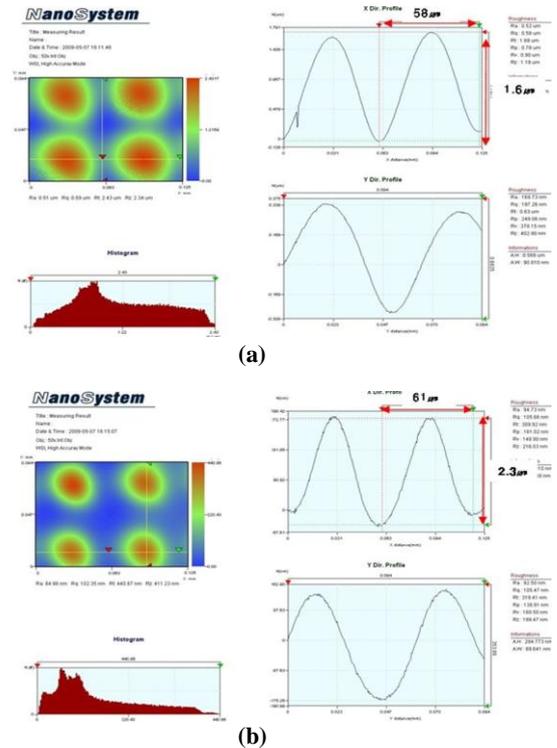
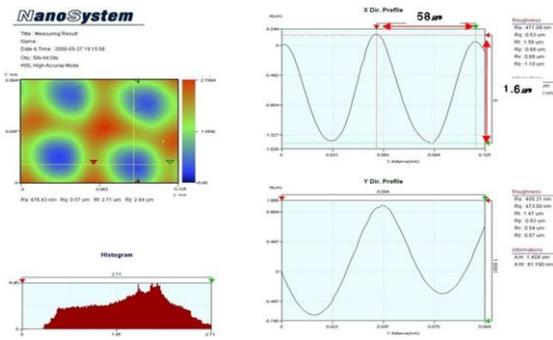
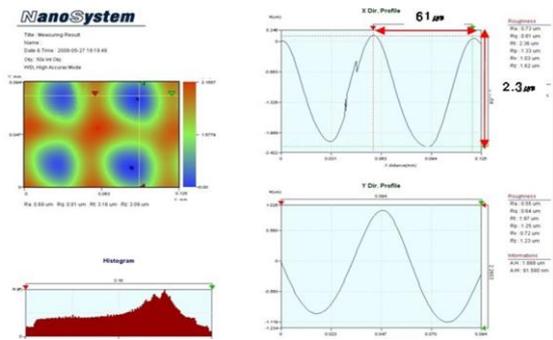


Fig. 5 Surface profile of MLA at the laser fluence of, (a) 0.31J/cm², (b) 0.38J/cm²

한 반응이 거의 없도록 만든다. 그렇게 만들어진 시편에 열팽창이 유도되는 범위를 먼저 측정한다. 다음 문턱값 이하의 열팽창이 유도되는 범위 안에서 갈바노 스캐너를 이용하여 레이저 플루언스를 변화하면서 MLA를 제작하였다. 4cm × 4cm의 시편을 만드는 시간은 약 1분 정도 소요되었으며 그렇게 만들어진 MLA를 크롬 몰드를 만들기 위해 크롬 설파메이트(Chrome sulfamate) 용액에 12시간 정도 넣었다가 음성감광제와 크롬을 분리한 다음, 크롬에 붙어있는 음성감광제를 아세톤(acetone)에 6시



(a)



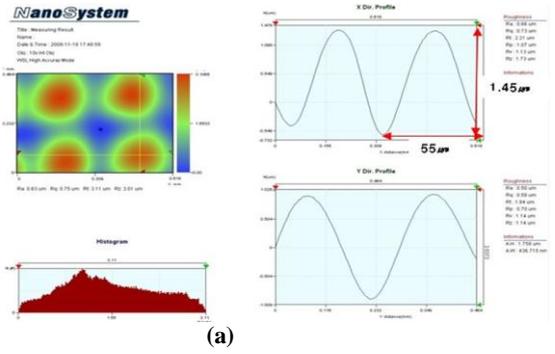
(b)

Fig. 6 Surface profile of MLA chrome mold at the laser fluence of, (a) $0.31\text{J}/\text{cm}^2$, (b) $0.38\text{J}/\text{cm}^2$

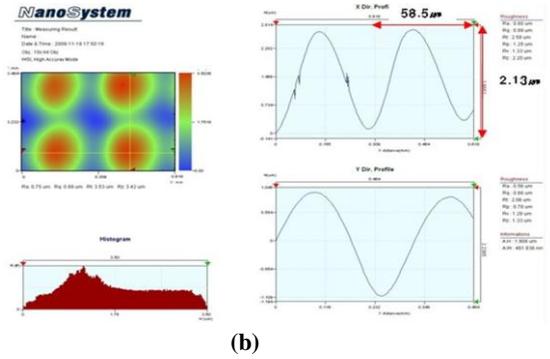
간 정도 넣어서 제거하였다. 그렇게 성형된 몰드를 핫앰보싱 공정을 이용하여 MLA 를 성형하고 각각의 형상을 비교, 분석하였다. 그리고 성형된 MLA의 광학적 특성을 측정하였다.

3.3 실험 결과

실험에 사용된 재료는 음성 PR 인 THB 이며 기존의 실험과 같이 THB 재료의 표면에 어블레이션 없이 열팽창만 유도하기 위해서 문턱값보다 낮은 에너지를 조사하였다. 실험적으로 증명된 THB의 문턱값이 $0.41\text{J}/\text{cm}^2$ 이었고, 열팽창이 유도되기 시작한 레이저 플루언스는 $0.23\text{J}/\text{cm}^2$ 이었다. 이번 실험은 유도값과 문턱값 안에서 가공형상이 제일 좋은 레이저 플루언스를 사용하여 형상을 만들고 정확한 형상 측정을 하기 위하여 SEM과 비접촉식 표면 프로파일 측정기를 사용하여 측정하였다. Fig. 4(a)는 $0.31\text{J}/\text{cm}^2$ 의 레이저 플루언스일 때 가공된 형상이며, Fig. 4(b)는 문턱값 근처인 $0.38\text{J}/\text{cm}^2$ 의 레이저 플루언스로 가공했을 때 THB의 표면에 형



(a)



(b)

Fig. 7 Surface profile of poly carbonate MLA at the laser fluence of, (a) $0.31\text{J}/\text{cm}^2$, (b) $0.38\text{J}/\text{cm}^2$

성된 마이크로 렌즈 형상을 각각 SEM으로 찍어 확인한 결과이다. Fig. 5(a)와 (b)는 레이저 플루언스가 각각 $0.31\text{J}/\text{cm}^2$ 와 $0.38\text{J}/\text{cm}^2$ 일 때 각각 50배율로 측정하였으며, 마이크로 렌즈간의 간격은 $100\mu\text{m}$ 이다. Fig. 5(a)는 직경 $56\mu\text{m}$, 높이 $1.4\mu\text{m}$ 의 MLA가 제작되었으며 Fig. 5(b)는 직경 $61\mu\text{m}$, 높이 $2.3\mu\text{m}$ 의 MLA가 제작되었다. 레이저 플루언스가 문턱값 이하의 특정한 범위 내에서는 증가할수록 MLA 직경과 높이가 모두 증가하는 경향을 보여주는 결과를 확인하였다.

Fig. 6에서는 THB 표면에 제작된 MLA를 크롬 몰드로 만들어 측정한 결과를 보여준다. 몰드의 성형방법은 크롬 설파메이트(chrome sulfamate) 용액에 12시간 정도 넣었다가 THB와 크롬을 분리한 다음, 크롬에 붙어있는 THB를 아세톤(Acetone)에 6시간 정도 넣어서 제거하였다. Fig. 6(a)는 레이저 플루언스 $0.31\text{J}/\text{cm}^2$ 일 때, 직경 $58\mu\text{m}$, 깊이 $1.6\mu\text{m}$, Fig. 6(b)는 레이저 플루언스 $0.38\text{J}/\text{cm}^2$ 일 때, 직경 $61\mu\text{m}$, 깊이 $2.3\mu\text{m}$ 의 형상을 나타낸다. THB로 만든 MLA형상의 반대로 나타나는 모습을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 제작된 크롬 몰드를 이용하여 핫 앰보

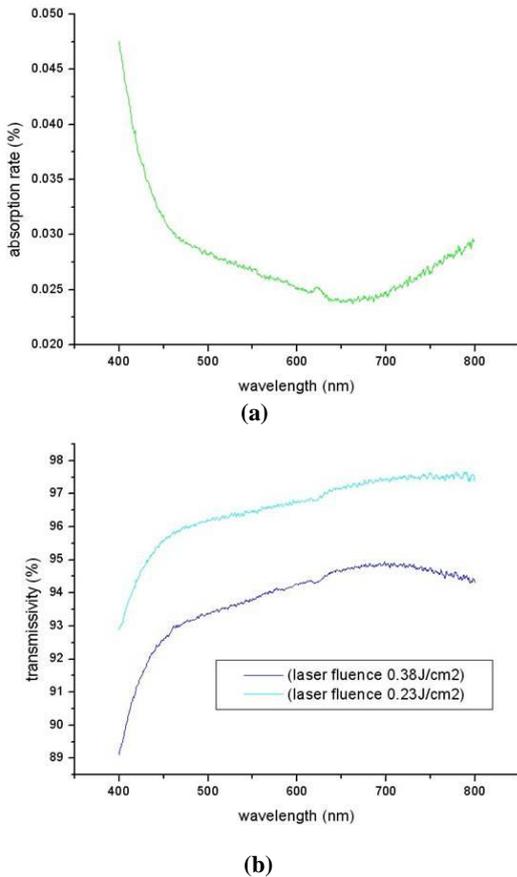


Fig. 8 Opto-physical properties of MLA, (a) absorption rate, (b) transmissivity

싱 공정을 통해 PC (poly carbonate)에 전사한 것을 측정 한 형상이다. Fig. 7 (a) 는 레이저 플루언스 $0.31\text{J}/\text{cm}^2$ 일 때, 직경 $55\ \mu\text{m}$, 높이 1.45nm , Fig. 7 (b) 는 레이저 플루언스 $0.38\text{J}/\text{cm}^2$ 일 때, 직경 $58.5\ \mu\text{m}$, 깊이 $2.13\ \mu\text{m}$ 의 형상을 나타낸다. THB 에 성형된 MLA 형상과 크롬 몰드의 형상은 오차가 없으나 PC 에 전사된 MLA 형상은 약간의 오차를 보이는데, 이는 핫 엠보싱 과정에서 냉각에 의한 수축에 의해 약간의 오차가 발생한 것으로 판단된다.

3.4 MLA 광학 특성 분석

MLA 의 광학적 특성을 분석하기 위해 UV 스펙트로메터(Spectrometer)를 사용하여 투과율과 흡수율을 측정하였다. Fig. 8(a)는 가시광선 영역에서 제작된 MLA 의 흡수율을 나타낸다. 흡수율은 레이저 플루언스에 따라 거의 차이가 나타나지 않는다. 그 이유는 0.02%에서 0.05%사이의 아주 작은 흡수율

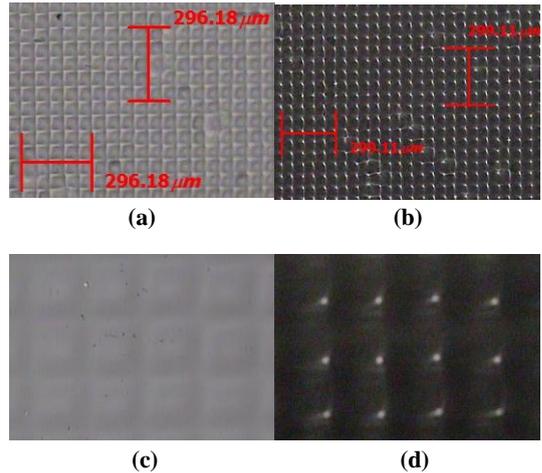


Fig. 9 Photos of the optical microscope and the measured focus of MLA at the laser fluence of $0.31\text{J}/\text{cm}^2$, (a) $\times 50$, (b) $\times 50$ (transparency), (c) $\times 200$, (d) $\times 200$ (transparency)

만 가지고 있기 때문에 차이 범위가 크지 않고 서로 다른 4 개의 MLA 가 거의 동일한 흡수율을 나타내었다. Fig. 8(b)는 MLA 의 투과율을 나타낸다. 가시광선 영역(약 $400\text{nm}\sim 780\text{nm}$)에서 투과율은 일반적으로 95% 이상을 나타내며, UV 영역에 가까워 질수록 투과율이 점점 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 흡수율은 MLA 높이나 직경에 크게 영향을 받지 않지만 투과율은 MLA 의 높이와 직경이 증가함에 따라 1.7%~2.5%의 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 투과율과 흡수율 그래프는 서로 대칭형을 이루고 있으며, 흡수율과 투과율의 합이 100%가 되지 않는 것은 반사에 의한 손실이라 볼 수 있다.

MLA의 초점거리를 확인하기 위해 광학현미경을 사용하여 측정하였다. 초점거리는 $250\ \mu\text{m}$ 이며, 형상에 따라 $10\ \mu\text{m}$ 이내의 오차가 발생하였다. 오차 범위는 렌즈의 수차가 있어서 초점이 정확히 모이지 않기 때문에 눈으로 초점 위치를 구별하기 어려워서 생기는 오차로 판단된다. Fig. 9과 10 은 MLA의 형상과 그에 따른 초점을 광학현미경으로 측정한 사진이다. Fig. 9 (a)는 $0.31\ \text{J}/\text{cm}^2$ 일 때 MLA의 형상을 반사 방식을 통해 50 배율로 나타내었고, Fig. 9 (b)는 투과 방식을 통해 50배율로 초점을 잡아 확인한 형상이다. Fig. 9 (c)는 반사 방식을 통해 200배의 배율로 확인한 형상이며, Fig. 9 (d)는 투과 방식을 200배율의 초점을 확인한 결과이다. Fig. 10은 $0.38\text{J}/\text{cm}^2$ 일 때 형상과 초점

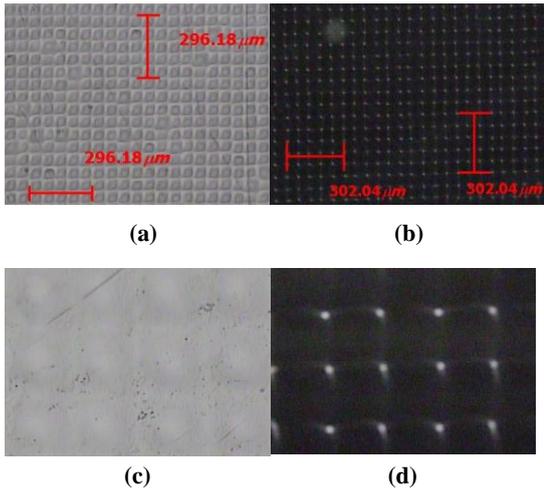


Fig.10 Photos of the optical microscope and the measured focus of MLA at the laser fluence of $0.38\text{J}/\text{cm}^2$, (a) $\times 50$, (b) $\times 50$ (transparency), (c) $\times 200$, (d) $\times 200$ (transparency)

을 확인한 결과이며 Fig. 10 (a), (b), (c) 및 (d)는 각각 Fig. 9와 동일한 조건으로 측정하였다. 레이저 플루언스에 따라 제작된 MLA의 형상변화가 미소하므로 거의 동일한 초점 거가를 측정됨을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 MLA 제작 실험을 바탕으로 실리콘 웨이퍼 위에 THB 를 올려서 최적의 MLA를 제작하고 형상을 확인하였으며, 크롬으로 몰드를 성형하였다. 성형된 크롬 몰드를 PC에 전사시켜 MLA를 성형하였다. 성형된 MLA 의 투과율과 흡수율 및 초점거리를 측정하여 MLA 로서 가능성을 확인하였다. THB 의 열팽창이 유도되는 플루언스 범위는 $0.23\text{J}/\text{cm}^2$ - $0.41\text{J}/\text{cm}^2$ 이었다. 형성된 마이크로 렌즈는 최소 반경 $54\mu\text{m}$, 최대 반경 $64\mu\text{m}$ 이고, 최소 높이 $350\mu\text{m}$, 최대 높이 $2.5\mu\text{m}$ 를 나타내었다. 플루언스가 증가할수록 형성된 마이크로 렌즈의 높이와 직경이 모두 약간 증가하였다. 또한, THB 로 제작된 MLA 를 이용하여 크롬 도금을 하여 대량생산을 위한 몰드를 제작하였다. MLA 성형 과정에서 약간의 오차가 발생하였으나 무시할 정도이며, 이는 핫엠보싱 과정에서 냉각에 의한 성형 재질의 수축현상이라 사료된다. 그리고 최종적으로, 몰드로 성형된 MLA의 광학적 특성을 측정하여

MLA 의 가능성을 확인하였다. 본 연구의 결과들로부터, 향후 다양한 물질에 저비용의 직접적인 대면적 고속 MLA 성형 및 몰드 제작 연구가 보다 활성화 될 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] D. S. Kim, H. S. Lee, B. K. Lee, S. S. Yang, S. S. Lee, T. H. Kwon, 2006, Modeling and Replication of Microlens Arrays Fabricated by a Modified LIGA Process, Transactions of Materials Processing, Vol. 15, No. 1, pp. 34~41.
- [2] H. D. Bae, M. S. Choi, S. I. Kang, 2006, Optimization of Glass Micro Molding Process for Glass Microlens Arrays, The Society of Information Storage Systems, Vol. 2, No. 4, pp. 236~239.
- [3] K. S. Park, H. J. Lee, S. I. Kim, B. S. Kim, 1998, Preparation of the relief optical microlens by self-processing dry photopolymers, Applied Chemistry, Vol. 2, No. 2, pp. 551~554.
- [4] N. Kiramura, K. Fukumi, J. Nishii, T. Kinoshita, N. Ohno, 2003, 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.
- [5] K. K. Ryoo, Y. G. Kim, K. S. Jeon, 2005, Polymer Microlens Fabrication, Clean technology, Vol. 11, No. 4, pp. 205~211.
- [6] D. S. Kim, H. S. Lee, B. K. Lee, S. S. Yang S. S. Lee, T. H. Kwon, 2006, Modeling and Replication of Microlens Arrays Fabricated by a Modified LIGA Process, Transactions of Materials Processing, Vol. 15, No. 1, pp. 34~41.
- [7] H. D. Bae, M. S. Choi, S. I. Kang, 2006, Optimization of Glass Micro Molding Process for Glass Microlens Arrays, The Society of Information Storage Systems, Vol. 2, No. 4, pp. 236~239..
- [8] Q. Wang, Y. Zhang, D. Gao, 1996, Theoretical study on the fabrication of a microlens using the excimer laser chemical vapro deposition technique, Thin Solid Films, Vol. 287, No. 1-2, pp. 243~246.
- [9] C. Y. Chang, S. Y. Yang, M. H. Chu, 2007, Rapid fabrication of ultraviolet-cured polymer microlens arrays by soft roller stamping process, Microelectronic Engineering, Vol. 84, No. 2, pp. 355~361.

- [10] K. S. Park, H. J. Lee, S. I. Kim, B. S. Kim, 1998, Preparation of the relief optical microlense by self-processing dry Photopolymers, Applied Chemistry, Vol. 2, No. 2, pp. 551~554.
- [11] N. Kiramura, K. Fukumi, J. Nishii, T. Kinoshita, N. Ohno, 2003, 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.
- [12] C. S. Kim, J. D. Kim, K. K. Y, 2003, Microlens Fabrication by using Excimer Laser, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No. 2, pp. 33~39.
- [13] S. K. Je, K. S. Park, J. Y. Oh, K. R. Kim, S. H. Park, C. S. Go, B. S. Shin, 2008, Rapid Fabrication of Micro Lens Array by 355nm UV Laser Irradiation, J. of Korean Society of Laser Processing, Vol. 11, No. 2, pp. 26~32.
- [14] C. S. Kim, J. D. Kim, K. K. Yang, 2003, Microlens Fabrication by using Excimer Laser, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No. 2, pp. 33~39.
- [15] B. S. Shin, J. Y. Oh, H. Sohn, 2007, 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.