

고밀도 패턴드 미디어 성형에 관한 연구 Replication of High Density Patterned Media

이남석[†], 최 용^{*}, 강신일^{*}

Nam-Seok Lee, Yong Choi, and Shinill Kang

Abstract

In this paper, we investigated the possibility of replicating patterned media by nano-injection molding process with a metallic nano-stamper. The original nano-master was fabricated by E-beam lithography and ICP etching process. The metallic nano-stamper was fabricated using a nanoimprint lithography and nano-electroforming process. The nano-patterned substrate was replicated using a nano-injection molding process without additional etching process. In nano-injection molding process, since the solidified layer, generated during the polymer filling, deteriorates transcribability of nano patterns by preventing the polymer melt from filling the nano cavities, an injection-mold system was constructed to actively control the stamper surface temperature using MEMS heater and sensors. The replicated polymeric patterns using nano-injection molding process were as small as 50 nm in diameter, 150 nm in pitch, and 50 nm in depth. The replicated polymeric patterns can be applied to high density patterned media.

Key Words : Patterned media, nano-injection molding, injection-mold system, metallic nano-stamper, polymeric nano-pattern

1. 서 론

패턴드 미디어 (patterned media) 의 제작시, 대용량의 정보를 고밀도로 저장시키기 위해서 미디어 기판 위에 나노 단위의 패턴이 요구된다. 패턴드 미디어는 일정한 방향의 자성을 갖는 나노 단위의 패턴을 제작함으로써, 기존의 연속적인 자성 박막을 이용하여 정보를 저장하는 방식이 갖는 초상자성 효과 (superparamagnetic effect) 및 노이즈 (noise) 문제를 해결할 수 있는 차세대 정보 저장매체이다 [1]. Fig. 1 은 기존의 자기 정보저장매체와 패턴드 미디어를 개략적으로 보여 준다. 패턴드 미디어의 제작을 위해, 전자빔 리소그래피, FIB (Focused Ion Beam) 및 이방성 건식 식각 (Dry etching) 등의 방법을 통해 나노 단위의 자성 도트 패턴을 제작하는 연구가 보고 된 바 있다[2-6]. 그러나 이와 같이 각각의 자성층을 직접 패터닝 하는 방식은 정보저장매체를 제작하기에는 생산 단가 및 제조 시

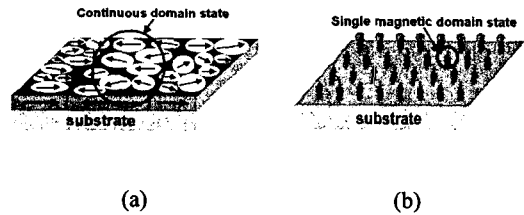


Fig. 1 Continuous magnetic data storages and patterned media, (a) conventional continuous magnetic data storages, (b) patterned media

간이 많이 소요된다. 이에 나노 임프린트 공정을 사용함으로써 제작 단가 및 공정 시간을 감소시킨 연구가 보고된 바 있다[7-10].

본 연구에서는 양산 공정에 적합한 성형 기술로 알려져 있는 사출성형 기술을 응용한 패턴드 미디어의 제작 공정을 제안하였다. 사출 성형 공정은 공정 사이클 타임 (cycle time) 및 공정 비용이 적게 소요되며, 추가적인 에칭 공정이 없는 공정으로 양산 공정에 적합한 공정으로 알려져 있다[11-14]. 전자빔 리소그래피 공정, ICP (Inductive Coupled Plasma) 공정 및 나노 UV 임프린트 공정을 통해 전기주조 공정을 위한 폴리머 나노 마스터를 제작하였고, 전기주조 공정을 통해 금속 나

[†] 연세대학교 기계공학부

E-mail : nslee@yonsei.ac.kr

^{*} 연세대학교 기계공학부

논문접수일 (2005년 4월 6일)

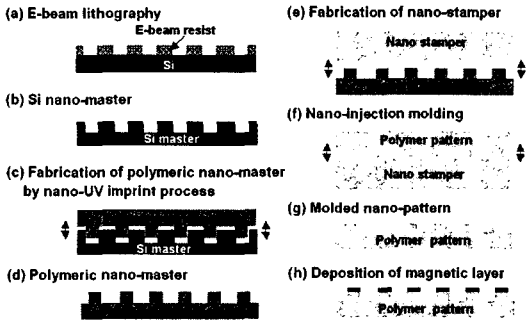


Fig. 2 Fabrication process of patterned media

노 스탬퍼를 제작하였다. 나노 스탬퍼를 이용한 나노 사출 성형공정을 통해 패턴드 미디어에 응용 가능한 폴리머 나노 패턴을 성형하였다. 또한, 나노 사출 성형 공정시 고화층의 발생을 지연시키기 위한 금형 표면 온도 제어 시스템을 적용함으로써 폴리머 패턴의 전사 특성을 향상시켰다[14-17]. 나노 사출 성형 공정을 통해 직경 50 nm, 피치 150 nm 크기를 갖는 폴리머 나노 패턴을 제작하였다. 나노 사출성형 통해 제작된 폴리머 나노 패턴 위에 자성 박막을 증착하는 공정을 통해 고밀도 패턴드 미디어에 응용 가능한 자성 나노 패턴을 제작할 수 있었다. Fig. 2 는 본 연구에서 제안한 금속 나노 스탬퍼 및 폴리머 나노 패턴의 제작을 통한 패턴드 미디어 사출 성형 공정의 개략도이다.

2. 금속 나노 스탬퍼의 제작

2.1 전자빔 리소그래피 응용 나노 마스터 제작

나노 사출 성형 공정에 있어서 나노 패턴을 지닌 스탬퍼의 제작이 요구되며, 스탬퍼의 표면 품질, 균일도 및 평탄도 등의 특성은 최종 성형품의 품질에 큰 영향을 미친다[18,19]. 음각의 나노 패턴을 지닌 스탬퍼를 제작하기 위해, 양각의 나노 패턴을 갖는 마스터의 제작이 필요하다. 본 연구에서는 전자빔 리소그래피, 건식 식각 공정에 의해 초기 패턴의 반복 사용이 가능한 Si 마스터를 제작하였고, Si 마스터를 이용한 UV 임프린트 공정에 의해 제작된 폴리머 나노 마스터를 응용하여 금속 스탬퍼를 제작하였다(Fig. 2(a)-(e)). 본 연구에서 제안하는 제작 공정은 성형된 폴리머 나노 패턴의 세장비 및 표면 특성을 향상시킬 수 있는 공정으로 사료된다.

전자빔 리소그래피를 응용하여 1 차 나노 패턴을 제작하였다. 나노 사이즈의 패턴 제작을 위해,

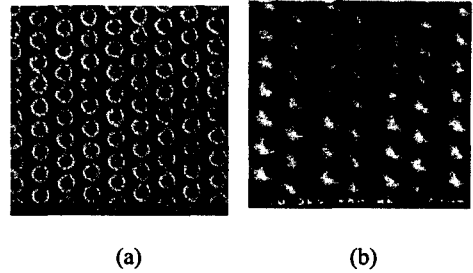


Fig. 3 SEM images of nano-hole patterns with (a) 100 nm and (b) 50 nm diameter on Si nano master by E-beam lithography and ICP etching process

적합한 E-beam 레지스트 ((E-beam resist) 재료 및 최적의 전자빔 리소그래피 공정 조건 선정을 위한 반복실험을 실시하여, 최적의 전자빔 리소그래피 공정 조건을 선정하였다. 전자빔 리소그래피에 의해 제작된 초기 나노 패턴을 barrier 로 사용하여, ICP 에칭 공정을 통해 Si 마스터를 제작하였다. Fig. 3 은 전자빔 리소그래피 및 ICP 에칭 공정을 통해 제작된 Si 나노 마스터의 SEM 사진을 보여 준다. Fig. 3 에서 보는 바와 같이, 직경 100 nm 및 50 nm 의 크기를 갖는 나노 홀 패턴이 균일하게 제작되었음을 볼 수 있다.

2.2 UV 임프린트 응용 폴리머 나노 마스터 제작

제작된 Si 마스터를 응용하여 나노 UV 임프린트 공정을 통해, 전기주조 공정을 위한 폴리머 나노 마스터를 제작하였다. 노광 시간 및 성형 압력 제어를 위한 반복 실험을 통해, 최적의 나노 UV 임프린트 공정 조건을 선정하였다. Fig. 4 는 나노

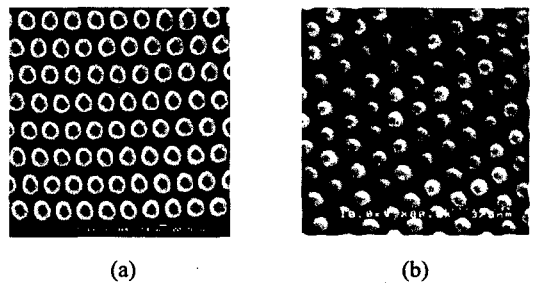


Fig. 4 SEM images of nano-pillar patterns with (a) 100 nm, and (b) 50 nm diameter on polymeric nano master by nano-UV imprint process (Polymeric nano-master, (a) and (b), was generated for electroforming process)

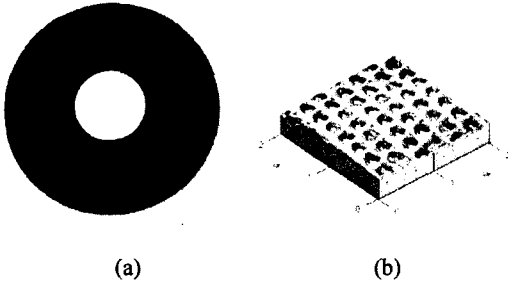


Fig. 5 (a) Picture of nano stamper with a 108 mm diameter, and (b) AFM image of the nano hole patterns on the metallic nano stamper

UV 임프린트 공정을 통해 제작된 폴리머 나노 마스터의 SEM 사진을 보여주고 있다. Fig. 4 에서 보는 바와 같이, Si 마스터의 나노 홀 형상의 패턴이 전사되어, 폴리머 나노 마스터 위에 필라 패턴이 균일하게 성형되어 있음을 확인할 수 있다.

2.3 금속 나노 스탬퍼의 제작

폴리머 나노 마스터 위에 니켈 기지층 (nickel seed layer) 을 증착한 후, 니켈 전기주조 방식을 통해, 직경 108 mm, 두께 0.295 mm 의 니켈 나노 스탬퍼를 제작하였다. 전기주조 공정은 니켈 설파메이트 (nickel sulfamate) 도금액을 사용하였으며, 온도 50 °C, pH 4.0, 전류 밀도 10~20 mA/cm² 의 조건에서 진행하였다. 제작된 금속 나노 스탬퍼의 성능을 측정하기 위하여 SEM 및 AFM 측정을 통한 형상 분석을 실시하였다. Fig. 5 (a) 는 사출성형 공정에 응용 가능한 108 mm 사이즈의 금속 나노 스탬퍼를 보여주고 있다. Fig. 5 (b) 는 AFM 을 통해 금속 나노 스탬퍼의 패턴 형성 결과를 보여주고 있으며, 전기 주조 공정을 통하여 양각의 나노 홀 패턴이 형성되었음을 볼 수 있었다. Fig. 4 및 Fig. 5 에서 보는 바와 같이, 전기주조를 통해 제작된 금속 나노 스탬퍼가 폴리머 마스터의 양각 패턴을 전사하고 있음을 확인하였다.

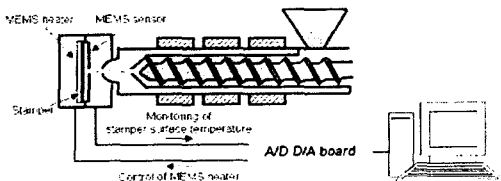


Fig. 6 Injection mold with MEMS heater and MEMS sensor for active heating of stamper surface

3. 나노 사출 성형 공정 응용 폴리머 나노 패턴의 제작

3.1 몰드 표면 온도 제어 시스템

나노 사출 성형 공정 중에 발생하는 고화층 (solidified layer)은 높은 점성 (viscosity) 과 낮은 유동성 (fluidity) 을 가지기 때문에 용융 폴리머가 스탬퍼의 미세 패턴에 충전되는 것을 방해하여 폴리머 패턴의 전사특성을 크게 저하시킨다. 이를 방지하기 위해서는 충전 과정 동안, 스탬퍼 표면 온도를 유리전이 온도 이상으로 유지시킴으로써 고화층 발생의 지연이 필요하다. 이를 위한 핵심 기술 중에 하나가 수초 내에 원하는 온도이력에 따른 몰드 표면 온도를 실시간으로 제어하는 기술이다. 이에 본 연구에서는 나노 복제용 나노 몰드에 대응할 수 있는 초정밀 MEMS 히터 및 센서 제작 기술, 실시간 몰드 표면 온도 측정 기술, 히터 제어 기술 등을 응용한 몰드 표면 온도 제어 시스템을 나노 사출 성형 공정에 적용하였다. Fig. 6 은 본 연구의 나노 사출 성형 공정에 적용된 몰드 표면 온도 제어를 위한 스탬퍼 능동 가열 시스템을 개략적으로 보여주고 있다.

3.2 나노 사출성형 공정

나노 패턴 성형 공정 기술을 기반으로 패턴드 미디어 제작을 위한 폴리머 나노 패턴을 성형하였다. Fig. 7 은 성형 실험에 응용된 나노 사출 성형 시스템을 보여주고 있다. 나노 사출성형 시스템은 형체력 40 톤 급의 전동식 나노 사출성형 시스템과 ±0.1 °C 의 온도 제어 정밀도를 가지는 금형 온도 조절기, 그리고 광학용 수지 건조기로 구성되어 있다. 패턴드 미디어 성형을 위한 재료로는 폴리 카보네이트 (Polycarbonate) 수지를 사용하였다. 나노 패턴에 대한 사출 성형 공정에 있어서, 온도 및 압력 조건은 가장 중요한 공정 조건이다. 사출 성형 공정에 있어서 온도 및 압력이 높을 경우, 스탬퍼의 나노 패턴에 대한 전사 특성은 향상되지만, 이형 (de-molding) 공정에 있어서, sticking 문제 등이 발생하여 최종 폴리머 성형품의 성능을 저하

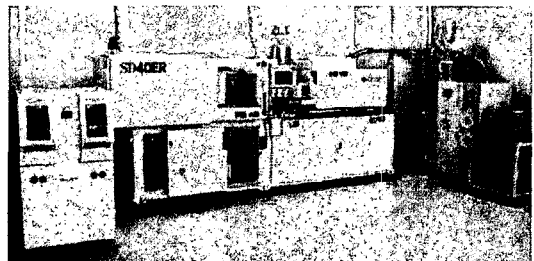


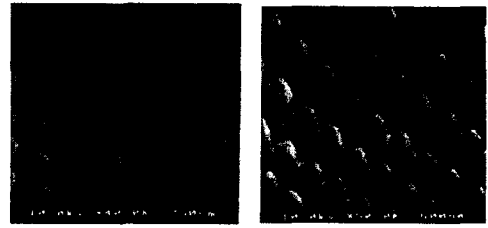
Fig. 7 Nano-injection molding system

시킬 수 있다. 반대로, 온도 및 압력이 낮을 경우, 스템퍼의 나노 패턴에 대한 전사 특성이 저하되어 성형된 폴리머 나노 패턴의 성능이 저하되는 문제가 발생한다. 이에 나노 사출 성형 공정을 응용한 나노 패턴 제작시, 최적의 성형 온도 및 압력 조건을 선정하는 과정이 요구된다.

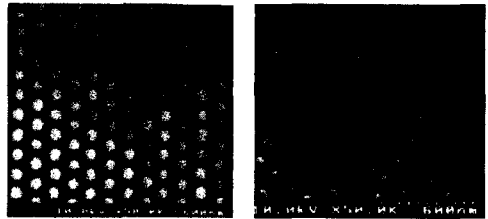
본 연구에서는 최적의 공정 조건을 선정하기 위한 반복 실험을 통해, 금형 온도를 100℃의 범위로, 충전 압력을 8~40 Kgf/cm²으로 선정하였다. Fig. 8은 반복실험을 통해서 선정된 사출성형 공정 조건에서 제작된 폴리머 나노 패턴의 SEM 사진을 보여 주고 있다. Fig. 8에서 보는 바와 같이, 사출 성형 결과 패턴 상부면의 평탄도가 우수하고, 세장비 1 이상의 고세장비 나노 패턴이 균일하게 성형되었음을 확인할 수 있다. 또한, 금속 나노 스템퍼의 홀 패턴을 전사하여 양각의 필라 패턴이 성형되었음을 확인할 수 있다. 제작된 폴리머 필라 패턴을 패턴드 미디어 제작에 적용하기 위해서, 나노 패턴 위에 균일한 자성 박막의 증착 공정을 통한 독립된 자성 패턴의 제작이 요구된다. 이를 위해, 패턴의 균일도, 패턴의 세장비 및 상부 평탄도의 확보가 중요하며, 본 연구에서 성형된 양각 필라 패턴이 패턴드 미디어에 응용 가능함을 확인할 수 있다.

4. 패턴드 미디어에의 응용

성형된 폴리머 나노 패턴을 패턴드 미디어에 응용하기 위해, 필라 패턴 위에 자성 박막을 증착하였다. 사출 성형으로 제작된 폴리머 나노 패턴은 직경 50 nm, 피치 150 nm의 크기를 갖는다. 자성 박막 증착은 UHV (ultra-high vacuum) 스퍼터 방식을 응용하여 실시하였으며, 폴리머 나노 패턴 위에 100 Å의 Cr (chromium) under layer를 증착하였고, 그 위에 200 Å 두께의 Co (cobalt) 자성층을 증착하였다. 자성 나노 패턴의 자성 도메인 구조는 MFM (magnetic force microscopy)를 응용하여 평가할 수 있다. MFM 측정은 팁과 자화된 샘플 간에 발생하는 자기적인 힘을 측정하여 자성 도메인의 이미지를 얻는 방식이다. MFM 측정용 팁은 자성 물질인 Co로 코팅되었으며, 각각의 실험 전에 자화 과정을 거친 후 측정을 실시하였다. Fig. 8은 폴리머 기판 위에 자성 박막을 증착한 패턴드 미디어 기판의 SEM 사진을 보여 준다. 제작된 폴리머 자성 나노 패턴은 최소 직경 50 nm 및 피치 150 nm의 크기를 갖는다. 이러한 사이즈의 자성 나노 패턴은 100 Gbits/in²의 대용량을 가지는 고밀도 패턴드 미디어 제작에 적용 가능하다.



(a)



(b)

Fig. 8 SEM images of polymeric pillar patterns with (a) 100 nm, and (b) 50 nm diameter replicated by nano-injection molding process

5. 결론

본 연구에서는 금속 나노 스템퍼를 제작하고 나노 사출 성형 공정을 통해 패턴드 미디어를 성형하는 제작 방식을 제시하였다. 전자빔 리소그래피를 이용하여 나노 사이즈의 홀 형태를 갖는 마스터 나노 패턴을 제작하였고, ICP 에칭 공정 및 UV 임프린트 리소그래피 공정을 통해 폴리머 나노 마스터를 제작하였다. 폴리머 나노 마스터 위에 니켈 기지층을 증착하고, 니켈 전기주조를 응용하여 마스터의 양각 나노 패턴을 전사하는 금속 나노 스템퍼를 제작하였다. 사출 성형 공정시 고화층의 발생을 지연시키기 위한 금형 표면 온도 제어 시스템을 적용함으로써 폴리머 패턴의 전사 특성을 향상시켰다. 나노 사출 성형 공정을 통해 제작된 폴리머 나노 패턴이 상부 평탄도 및 세장비가 우수함을 확인할 수 있었다. 최종적으로, 제작된 폴리머 나노 패턴 위에 자성박막을 증착하는 공정을 통해 패턴드 미디어에 응용 가능한 자성 나노 패턴을 제작할 수 있었다. 또한, 제작된 폴리머 자성 나노 패턴은 100 Gbits/in² 용량의 고밀도 패턴드 미디어에 응용 가능함을 확인하였다. 고밀도 나노 사출성형 공정을 통해 제작된 폴리머 나노 패턴은, 패턴드 미디어를 비롯한 차세대 고밀도 정보저장 매체, 디지털 디스플레이 소자, 나노 바이오 디바이스 소자 등에 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] R. L. White, R. M. H. New, and R. F. W. Pease, 1997, "Patterned media: a viable route to 50 Gbit/in² and up for magnetic recording," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol.33 No.1, pp.990-995.
- [2] T. Aoyama, K. Uchiyama, T. Kagotani, K. Hattori, Y. Wada, S. Okawa et al, 2001, "Fabrication and properties of Co Pt patterned media with perpendicular magnetic anisotropy," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol.37, No.4, pp.1646-1648.
- [3] S. Ganesan, C. M. Park, K. Hattori, H. C. Park, R. L. White, H. Koo et al, 2000, "Properties of lithographically formed cobalt and cobalt alloy single crystal patterned media," *IEEE Transactions on magnetics*, Vol.36, No.5, pp.2987-2989.
- [4] T. Aoyama, K. Uchiyama, T. Kagotani, K. Hattori, Y. Wada, S. Okawa et al, 2001, "Fabrication and properties of CoPt patterned media with perpendicular magnetic anisotropy," *IEEE Transactions on magnetics*, Vol.37, No.4, pp.1646-1648.
- [5] C. T. Rettner, M. E. Best, and B. D. Terris, 2001, "Patterning of granular magnetic media with a focused ion beam to produce single-domain islands at > 140 Gbit/in²," *IEEE Transactions on magnetics*, Vol.37, No.4, pp.1649-1651.
- [6] K. Koike, H. Matsuyama, Y. Hirayama, K. Tanahashi, T. Kanemura, O. Kitakami et al, 2001, "Magnetic block array for patterned media," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.78, No.6, pp.784-786.
- [7] S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, 1996, "Imprint lithography with 25-nanometer resolution," *Science*, Vol.272, pp.85-87.
- [8] A. Lebib, Y. Chen, J. Bourneix, F. Carcenac, E. Cambril, L. Couraud et al, 1999, "Nanoimprint lithography for a large area pattern replication," *Microelectronic Engineering*, Vol.46, pp.319-322.
- [9] H. Hiroshima, M. Komuro, S. Inoue, N. Kasahara, J. Taniguchi, and I. Miyamoto, 2001, "Uniformity in patterns imprinted using photo-curable liquid polymer," *Micorprocesses and Nanotechnology Conference, 2001 International*, pp.102-103.
- [10] Y. Hirai, N. Takagi, H. Toyota, S. Harada, T. Yotsuya, and Y. Tanaka, 2001, "Nano chamber fabrication on an acrylic plate by direct nano imprint lithography usgin quartz mold," *Micorprocesses and Nanotechnology Conference, 2001 International*, pp.104-105.
- [11] N. Lee, Y. Kim, S. Kang, and J. Hong, 2004, "Fabrication of metallic nano-stamper and replication of nano-patterned substrate for patterned media," *Nanotechnology*, Vol.15, issue 8, pp. 901-906.
- [12] K.Y. Kim, D.C. Lee and S. Kang, 2003, "Fabrication of metallic nano-stamper to replicate nanoscale patterns," *Proceedings of the KSPE (Korean Society For Technology of Plasticity) Annual Spring Meeting*, pp.481.
- [13] J.s.Kim and S.Kang, 2000, "An Theoretical Investigation on the minimization of birefringence distribution in optical disk substrate," *Transactions of Material Processing*, Vol.9, No.2, pp.103-111.
- [14] J. Bae, Y. Kim, H. Kim and S. Kang, 2004, "Modeling of Passive Heating for Replicating Sub-micron Patterns in Optical Disk Substrates," *Transactions of Material Processing*, Vol.13, No.1, pp. 39-44.
- [15] B. H. Kim and N. P. Suh, 1986, "Low thermal inertia molding," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, pp.73-93.
- [16] M. J. Liou and N. P. Suh, 1989, "Reducing residual stresses in molded parts," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 29, No.7, pp.441-447.
- [17] B. Kim and M. F. Niemeier, 1995, "Insulated mold structure for injection molding of optical disks," *U.S. Patent*, No.5, pp.458,818.
- [18] N. Lee, Y. Kim, and S. Kang, 2004, "Temperature dependence of anti-adhesion between a stamper with sub-micron patterns and the polymer in nano-moulding processes," *J. Phys. D: Appl. Phys.* Vol.37, No.12, pp.1624-1629.
- [19] S. Moon, N. Lee, and S. Kang, 2003, "Fabrication of a microlens array using mirco-compression molding with an electroformed mold insert," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol.13, No.1, pp. 98-103.