

광소자 임프린트용 에폭시 몰드 연구

A study of epoxy mold for imprint-based optical device

*신현호¹, #정명영¹, 김창석¹, 류진화¹

*H.H.Shin¹, #M.Y.Jeong(myjeong@pusan.ac.kr)¹, C.S.Kim¹, J.H.Ryu¹

¹ 부산대학교 나노융합기술학과

Key words : Imprint, Epoxy mold, Microstructure, Hardness

1. 서론

고분자를 이용한 소자는 쉬운 공정, 저가 등의 장점을 지니고 있어 광 저장장치, 광통신 부품, 디스플레이 분야에 고분자 기반의 광학 성형품의 수요가 증가하고 있다.¹ 이러한 마이크로 / 나노 구조물의 고분자 기반의 성형 공정 기술은 인젝션 몰딩과 임프린트 기술, 캐스팅 등이 대표적인 기술이다. 그 중에서 임프린트 기술은 유리전이 온도 이상으로 가열된 열가소성 시료에 미세구조를 가진 금형을 물리적으로 압착하여 금형에 구현된 미세구조를 고분자에 그대로 각인하는 기술로, 공정이 단순하여 저가로 대량생산할 수 있어 최근 광학 성형품의 제작을 위한 적합한 공정기술로 부각되고 있다.²

임프린트 공정을 위한 몰드는 최종 구조물의 광학소자의 형상을 직접적으로 결정함으로 몰드의 제작기술이 임프린트 공정기술의 핵심 요소기술 중의 하나라고 할 수 있다.³ 임프린트는 몰딩되는 물질과 몰드 재질 사이의 기계적, 열적인 특성 차이를 이용하여 물리적 가압을 통해 성형됨으로, 임프린트에 사용되는 몰드는 임프린트 압력 및 온도에서 견딜 수 있는 기계적 강도와 열적 안정성이 요구된다. 따라서 이러한 몰드는 주로 기계 가공, 전주도금, 레이저 가공 등의 방법에 의해 금속 표면 위에 직접적으로 패터닝하여 제작되는 금속 몰드와 광학 리소그래피, RIE 및 ICP 공정 등을 통하여 주로 실리콘 또는 quartz로 제작되어 왔다.

그러나 이러한 기법들에 의해 제작되는 금속 또는 실리콘 등은 열적 및 기계적 강도 등에 있어 임프린트용 몰드로 매우 적합한 재질이지만, 이들은 긴 공정시간과 고비용으로 인해 생산성에 있어 문제점을 지니고 있다.

따라서 본 논문에서는 광학소자를 임프린트로 제작하기 위한 저가의 에폭시 기반 몰드를 제작 공정 연구를 하였으며, 제작된 에폭시 몰드의 가능성을 임프린트를 통해 마이크로 광학소자를 제작함으로써 그 유효성을 제시하였다.

2. 에폭시 몰드 제작 연구

2.1 PDMS 금형의 제작

임프린트를 위한 에폭시 몰드는 Fig. 1과 같이 2번의 복제 주조 공정을 통해 제작되며, 본 논문에서는 광학리소그래피 공정과 에칭공정을 통해 제작된 6 μm × 6.5 μm의 단일모드 PLC 소자와 멀티모드 광도파로 패턴을 포함한 실리콘 몰드를 원형 금형으로 사용하였다. 우선, 에폭시 몰드의 제작을 위해서는 원형 금형의 형상을 유지하기 위한 중간매개물의 금형이 필요한데, 이를 PDMS를 이용하여 제작하였다. PDMS는 표면에너지가 낮아 이형이 쉬운 원형 금형을 쉽게 복제할 수 있을 뿐만 아니라 다른 물질과의 반응성이 낮아 에폭시 몰드의 복제 주조시 유용하다. 사용된 PDMS는 Dow Coming사의 Sylgard™ 184로, 주제와 경화제를 10:1로 혼합된 용액이다. 혼합된 용액을 원형 금형에 붓고 진공분위기에서 30분간 두어, 채널 사이에 entrapped air의 제거 및 미충진을 보완하였다. 이후, 70도의 핫 플레이트에 2시간 열 경화 시킨 후 PDMS를 원형 금형에서 떼어내어 Fig. 2와 정밀한 PDMS 몰드를 제작하였다.

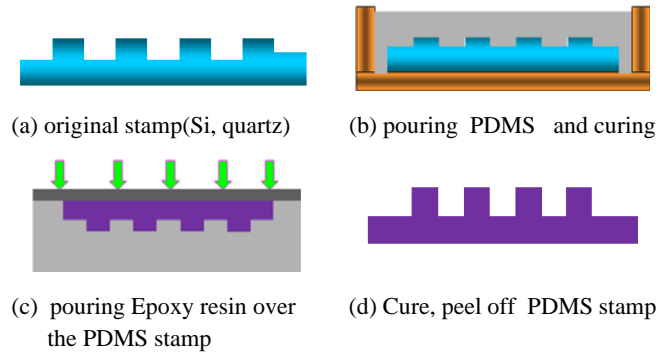


Fig. 1 Schematic fabrication process of epoxy mold

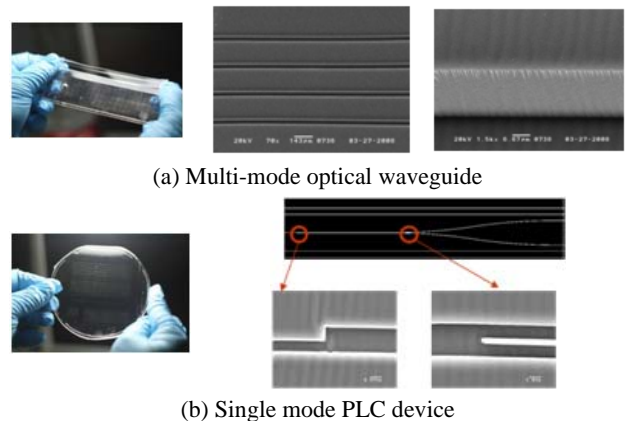


Fig. 2 Fabricated PDMS intermediate mold

2.2 에폭시 몰드 제작

제작된 PDMS 금형을 이용하여 에폭시 몰드를 제작하였다. 사용된 에폭시는 Diglycidylether of bisphenol A를 주제로, Modified aliphatic amine을 경화제로 각각 사용하였고, 혼합비율 4:1로 하여 경화조건을 도출하였다. 4:1로 혼합된 레진을 제작된 PDMS 금형에 5 mm 두께로 붓고 상온에서 2시간 경화시켜 에폭시 몰드를 제작하였다. 이때, 에폭시 레진의 경화시 초음파 진동에너지와 5 kg 가압을 통해 몰딩 시 높은 점도로 인해 Fig.3과 같이 발생하는 기포 및 미충진 문제를 해결하였다.

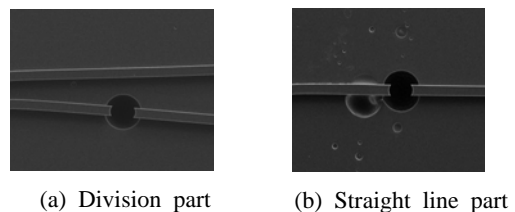


Fig. 3 Epoxy stamp with bubble without using ultrasonic vibration

또한 제작된 에폭시 몰드는 Fig. 4와 같이 선폭과 높이가 원형 실리콘 몰드와 0.1%의 정밀성을 보이는 것을 확인하였다.

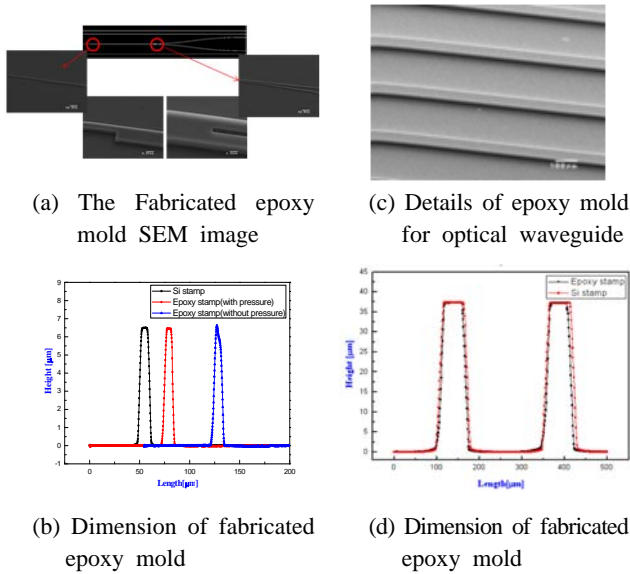
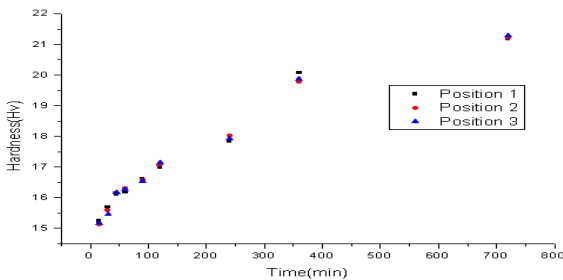


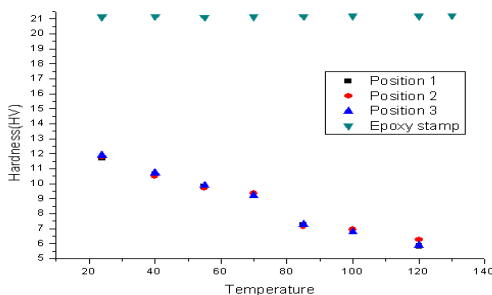
Fig. 4 The Fabricated epoxy mold image

2.3 Hardness향상에 관한 연구

임프린트는 몰딩 되는 PMMA와 제작된 에폭시 몰드사이의 기계적인 강도 및 열적인 특성 차이에 의한 물리적 접촉에 의해 패턴이 형성되는 것이므로, 제작된 에폭시 몰드는 임프린트 압력과 온도에 견딜 수 있는 기계적인 강도와 열적 안정성을 지녀야 한다. Fig.5는 100℃의 온도에서 시간에 따른 에폭시 몰드의 hardness 변화와 250 μm 두께의 PMMA 시트와 열처리된 에폭시 몰드 사이의 온도변화에 따른 기계적인 강도를 비교, 측정된 것을 보여준다. 열처리된 에폭시 몰드는 상온에서 PMMA의 hardness 보다 2배정도 높은 결과를 가졌으나, 온도가 증가함에 따라 PMMA의 hardness가 점차적으로 감소하여 에폭시 몰드와 3배 이상의 hardness차이가 났다. 이를 통해, 사용하고자 하는 에폭시 몰드의 경우 임프린트용 몰드로 충분히 기계적 강도 및 열적 안정성을 지니고 있어 몰드로의 사용이 가능함을 알 수가 있었다.



(a) Variation of epoxy stamp hardness according to time at 100 °C



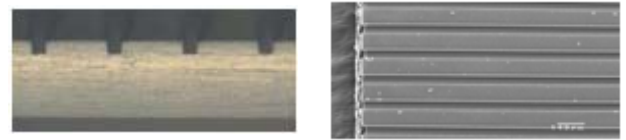
(b) Comparison of hardness for PMMA sheet and annealing epoxy stamp

Fig. 5 Hardness of epoxy stamp

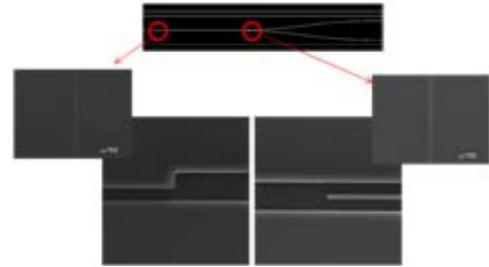
3. 임프린트를 통한 광소자 제작

제작된 에폭시 몰드의 유용성을 확인하기 위해 임프린트 기법에 의한 광소자를 제작하였다. 에폭시 몰드를 통한 최종적인 임프린트 공정은 PMMA에서의 최적의 전사성을 지니기 위하여 열전도성이 좋은 실리콘을 기판으로 PMMA 시트를 올리고 에폭시 몰드로 임프린트 하였다. 이때 rubber를 깔아 패턴에 균일한 압력을 가하도록 하였다. 공정조건은 40 kg의 압력으로 150℃로 20분 동안 가하였으며 이형 온도는 80℃로 하였다.

이러한 공정을 통하여 에폭시 몰드로 임프린트한 PMMA를 Fig. 6에 나타냈었으며, 이를 통해 제작된 에폭시 몰드의 유용성을 확인 할 수 있었다.



(a) The Fabricated epoxy mold SEM image



(b) PLC device

Fig. 6 The image of imprinted PMMA patterns using epoxy stamp

4. 결론

본 논문에서는 2번의 복제 주조공정을 통해 제작된 저가의 에폭시몰드 제작에 관하여 연구하였다. 여기서 PDMS는 임프린트 시 가해지는 고온, 고압에서 기계적 강도 및 열적 안정성에 있어서 문제가 발생되고 있어 이를 중간 과정으로 하여 기계적 강도와 내구성을 보완하기 위하여 에폭시 기반의 몰드를 제작하였다. 또한 에폭시 몰드의 제작과정에서 발생하는 기포 및 미충진 등의 문제는 초음파와 진동 에너지를 통하여 해결하였으며 열처리 과정을 통하여 열적 안정성과 기계적 강도를 증가시켰다. 이렇게 제작된 에폭시 몰드는 원형 실리콘 몰드와 선폭과 높이가 각각 0.1%이하의 정밀성을 나타낼 뿐만 기계적 강도 및 열적 안정성을 유지하여 기존의 몰드와는 달리 빠른 공정 및 저가의 몰드 제작이 유용함을 알 수가 있었다.

후기

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2008-F-020-01]

참고문헌

1. Sotomayor Torres, C.M., Zankovych, S., Seekamp, J., Kam, A.P., Cedeno, C.C., Hoffmann, T., Ahopelto, J., Reuther, F., Pfeiffer, K., Bleidiessel, G., Gruetzner, G., Maximov, M. V. and Heidari, B., "Nanoimprint lithography: an alternative nanofabrication approach," Mater. Sci. Eng. C., Vol. 23, pp.23, 2003
2. Jin Hwa Ryu, Chang Seok Kim and Myung Yung Jeong, "Dimensional Stability of an imprinted microoptic waveguide", J. of KSPE, 25, 100-106, 2008
3. Yoshihiko H, Satoshi H, Satoshi I, Michio K and Yoshio T, "Nano imprint lithography using replicated mold by Ni electroforming," Appl. Phys., Vol. 41, pp.4186, 2002