

마이크로 광소자 Hot embossing 공정 특성 연구

Characteristics of hot embossing process for micro optics device

*오현성¹, 오승훈¹, 김창석¹, #정명영¹

*H. S. Oh¹, S. H. Oh¹, C. S. Kim¹, #M. Y. Jeong(myjeong@pusan.ac.kr)¹

¹ 부산대학교 나노융합기술학과

Key words : Hot embossing, Optical waveguide

1. 서론

고도의 정보화 사회에 들어서면서 PC 등의 정보 단말이나 인터넷의 보급에 수반해, 정보 전송 수요가 급격하게 증대됨에 따라 고집적화 및 초고속의 정밀 미세 광 부품 수요가 급증하고 있다. 실리카 기반의 광 도파로는 반도체 공정 기술을 바탕으로 안정된 소자 특성을 장점으로 실용화되어 널리 사용하고 있지만, 복잡한 공정으로 인한 저가 생산 및 대량 생산 공정 측면에서 어려움이 있다. 고분자를 이용한 광소자 기술은 실리카 기반의 광소자 제작에 비해 상대적으로 저가 및 대량 생산 공정이 가능하여 국내 및 국외에서 깊은 연구가 진행되어지고 있다. 최근 들어 고분자를 이용한 광소자 제작 기술 중 임프린트 리소그래피(Imprint lithography)공정은 단순한 제작공정과 대량생산에 적합하여 광소자 성형 공정으로 부각되었다.^{1, 2}

임프린트 리소그래피는 유리전이온도(Glass Transition Temperature ; T_g) 이상으로 가열된 열가소성 시료에 원형 미세구조물을 가진 금형을 이용하여 물리적 압력과 온도에 의해 직접적으로 원형 구조물을 각인 시키는 방법으로 금형의 제작 기술 및 성형 온도, 압력 등 Hot embossing을 위한 최적의 공정 조건이 뒷받침되어야 광 도파로에서 광 손실을 줄일 수 있다.³

따라서 본 논문에서는 Hot embossing공정에서 성형 압력, 성형 온도, 이형 온도, 후 열처리를 실험적으로 최적화하여 정확한 마이크로 패턴을 고분자에 성형하고, 이를 바탕으로 저 손실의 광 도파로를 제작하였다.

2. Hot embossing 공정 특성 연구

실험에 사용된 금형은 선폭과 높이가 각각 44.64 μm , 33.68 μm 인 12채널의 Si 금형과 46.76 μm × 46.76 μm 의 사각패턴, 93.92 μm × 93.92 μm 의 사각패턴을 사용하였다. 클래드 층으로 사용된 재료는 열가소성 고분자인 PMMA(Poly methyl methacrylate) 시트를 사용하였고, DSC(Differential Scanning Calorimetry)를 통해 PMMA 시트의 유리전이온도를 측정된 결과 108 $^{\circ}\text{C}$ 로 측정되었다. 코어는 chem optic사의 Exguide™(WIR30-500)를 사용하였고 굴절율은 1.49674@850 nm로 클래드(1.4856@850 nm)층과 도파 조건을 만족한다.

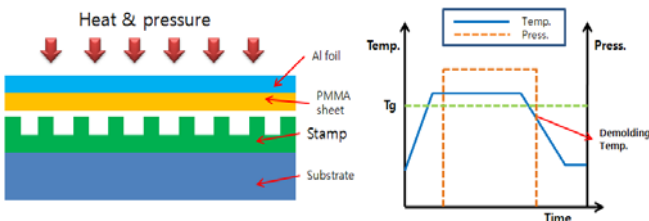


Fig. 1 Hot embossing process system.

Hot embossing공정에 사용된 임프린트 장비는 Obducat NIL6모델을 사용하였으며, Fig. 1과 같이 임프린트 시 정밀도, 균일성 등을 향상시키기 위하여 Al foil를 적층하여 임프린트를 수행하였다.

임프린트 후 금형과 PMMA 시트간의 이형 시 발생하는 들러붙음 현상을 억제하기 위해 이형막을 기상 형태로 증착하였고, 그 결과 접촉각이 52.5도에서 114도로 향상됨을 확인할 수 있었다.

2. 1. 성형 온도에 따른 영향

임프린트 시 성형 온도에 따른 패턴 성형의 정밀도를 알아보기 위해 성형압력을 35 bar, 시간은 35 초, 이형 온도를 80 $^{\circ}\text{C}$ 로 고정하고, 성형온도를 유리전이온도(108 $^{\circ}\text{C}$) 이상인 110 $^{\circ}\text{C}$ 부터 150 $^{\circ}\text{C}$ 까지 변화를 주어 임프린트를 수행하였다. Fig. 2의 주사전자현미경(scanning electron microscopy ; SEM) 이미지와 알파스텝(α -step) 이미지를 보면 성형 온도가 120 $^{\circ}\text{C}$ 이하인 경우, 선폭의 변화폭이 10 μm 이상으로 크게 나타났으나, 130 $^{\circ}\text{C}$ 이상인 경우에는 직선형태의 패턴에 있어서는 큰 변화가 없었다. 그러나 피치가 작은 사각패턴인 경우는 130 $^{\circ}\text{C}$ 근방에서도 선폭의 변화폭이 미세하게 나타났다. 이는 미세 패턴 일수록 성형온도가 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

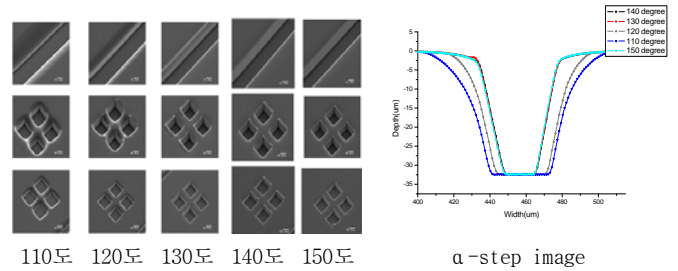


Fig. 2 Change of PMMA patterns with embossing temperature.

2. 2. 성형 압력에 따른 영향

성형 압력에 따른 패턴 성형의 영향을 알아보기 위해 성형 압력을 16 bar, 25 bar, 35 bar로 설정하고, 임프린트 시간은 35 초, 성형 온도는 140 $^{\circ}\text{C}$, 이형 온도를 80 $^{\circ}\text{C}$ 로 설정하여 임프린트를 수행하였다. Fig. 3을 통하여, 압력이 16 bar에서도 금형의 높이만큼 PMMA가 성형되었으나 선폭의 경우 모서리 부분까지 PMMA가 침투하지 못함을 확인할 수 있었다. 압력을 25 bar까지 높일 경우, 압력 증가에 따라서 선폭이 약 1 μm 이하의 변화가 나타났으며, 25 bar에서 35 bar의 압력 증가에서는 선폭의 증가가 나타나지 않음을 알 수 있었다. 이는 성형온도가 높은 경우 PMMA 시트는 이미 유리전이 온도 이상에서 유동성이 높아져서 압력에 따른 영향이 크지 않았다고 사료된다.

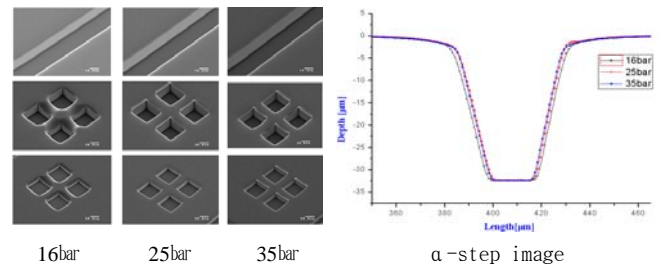


Fig. 3 Change of PMMA patterns with embossing pressure.

2.3. 이형 온도에 따른 영향

이형 온도가 패턴의 정밀도에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 성형압력 35 bar, 임프린트 시간 35초, 성형 온도는 140 $^{\circ}\text{C}$ 로 고정하고 이형 온도를 80 $^{\circ}\text{C}$ 부터 110 $^{\circ}\text{C}$ 까지 변화를 주어 패턴의 정밀도를 알아보았다. 그 결과 Fig. 4에 나타난 것과 같이

이형 온도가 80 °C에서 100 °C까지는 패턴에 큰 영향이 없어 보이나 110 °C에서는 약 2 μm 정도의 선폭이 커짐을 알 수 있었다. 이는 유리전이온도 이상에서 PMMA가 유동성을 가진 상태에서 이형되었기 때문으로 생각할 수 있다.

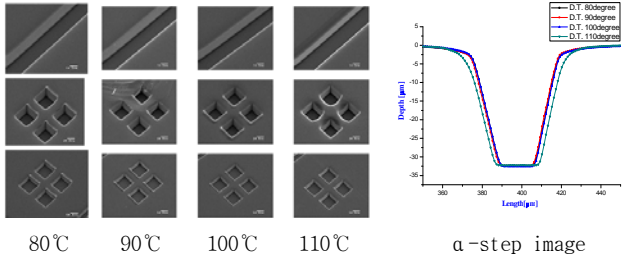


Fig. 4 Change of PMMA patterns with demolding temperature.

3. 열처리에 의한 패턴의 측면 거칠기 개선

최적의 임프린트 공정으로 패턴이 성형되었다 하더라도 임프린트 공정에 대한 응력이 발생할 뿐 아니라, PMMA에 전사된 패턴의 측면 거칠기는 임프린트를 위해 사용된 금형의 측면 거칠기에 의존하기 때문에 거칠기 개선의 연구가 필요하다.

특정한 온도에서 고분자의 열처리는 고분자의 유동이 발생하지 않고 분자의 재배열과 사슬구조의 안정화로 인해 측면 거칠기가 상당히 호전된다고 보고되고 있다.⁴

사용된 열가소성 수지인 PMMA는 유리전이온도에서 탄소가 연결된 분절의 운동이 가능한 범위에 분자운동이 일어나며, 국지적으로 분자들은 확산이 가능하여 한 위치에서 다른 위치로의 이동이 가능하다. 따라서 PMMA의 온도를 상승시켜 유리전이온도 이하에서의 열처리는 분자들의 활발한 운동을 가능하게 함으로써 고분자의 점도가 감소하게 된다.⁵ 또한, 이 영역에서는 활성화 에너지가 증가하여 분자 사이에 힘이 줄어들기 때문에 표면장력을 감소시키게 된다. 이러한 이유로 인해 PMMA의 적정 온도 열처리를 통해 우리는 표면조도를 개선할 수 있었다.

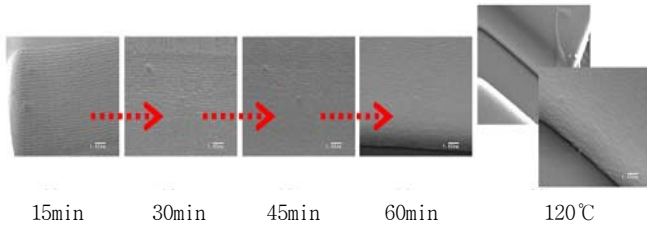


Fig. 5 Improvement of sidewall roughness by using thermal treatment.

Fig. 5를 통해 열처리 온도가 95 °C로 고정되어 있을 때 시간에 따라 측면 조도가 개선되는 모습을 주사전자현미경을 통해 관찰할 수 있다. 열처리 시간이 45분 이상이 되면서 측면 조도가 상당히 개선됨을 볼 수 있고, 유리전이온도 보다 10 °C 높은 120 °C의 온도에서 20 분간 열처리한 PMMA의 측면 조도는 현저히 개선되었으나, 모서리 부분에서 변형이 일어났다. 이를 통해 95 °C에서 1 시간의 열처리가 패턴이 성형된 PMMA 채널의 측면 조도 개선에 큰 역할을 한다는 것을 실험적으로 알 수 있었다.

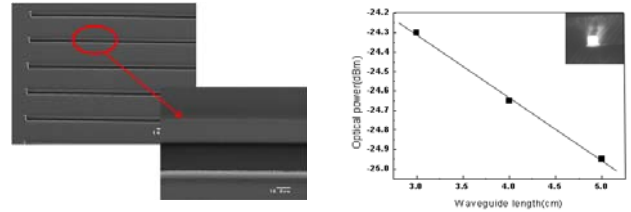
4. 마이크로 광소자 제작과 도파손실 측정

이상에서 연구되어진 최적의 Hot embossing 성형 조건(Table 1)을 이용하여 Fig. 6(a)와 같이 마이크로 직선 광 도파로 패턴을 임프린트하고 코어 층진 및 자외선 경화의 2단계 공정을 통해 마이크로 광 도파로를 제작하였다. 코어 층진 시 발생하는 기포를 제어하기 위하여 초음파를 이용하였고, 적정 압력을 통하여 코어 슬랩층 발생을 억제 하였다.

Table 1. The best condition for hot embossing process

Temp.(°C)	Pressure(bar)	Time(s)	Demolding Temp.(°C)
140	35	35	80

Fig. 6(b)는 850 nm의 광원을 사용하여 IR camera로 측정된 광 도파 이미지와 cut-back method에 의하여 1 cm 간격으로 optical power를 보여준다.



(a) SEM image of PMMA channel (b) Optical loss of polymer waveguide

Fig. 6 Fabricated polymer waveguide.

5. 결론

Hot embossing 공정에 영향을 미치는 요소들을 실험적으로 최적 성형 조건을 찾고, 이를 기반으로 고분자 마이크로 채널을 정밀하게 구현하였다. 빠른 임프린트 시간(35 초)에서 온도 140 °C, 압력 35 bar, 이형온도 80 °C의 최적 성형 조건과 성형 후 95 °C에서 한 시간 동안 열처리를 통해 측면의 표면 거칠기가 개선됨을 실험을 통해 도출하였다. 이를 바탕으로 마이크로 직선 광 도파로를 제작하였고, cut-back method로 도파손실을 측정 한 결과 광 손실은 0.33 dB/cm(@850 nm)로 측정되었다. 정밀한 패턴의 성형과 고분자의 표면거칠기 개선은 광 도파로의 도파손실을 줄이는데 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 지식경제부 차세대신기술개발사업에 의하여 수행하였음.[10030095]

참고문헌

1. B.L. Booth, in Polymers for Electronic and Photonic Applications(C. P. Wong, Ed., New York : Academic, 1993).
2. Braeuer, A., Dannberg, P., Mann, G., and Popall, M., 2001, "Precise Polymer Micro-Optical Systems," MRS Bulletin, pp. 519~522.
3. Scheer, H. C., Bogdanski, N., Wissen, M., Konishi, T. and Hirai, Y., "Profile evolution during thermal nanoimprint," Microelectronic Engineering, Vol. 83, No. 4-9, pp. 843-846, 2006.
4. Ronald, L. J., Tengjiao, H., Christopher, L. S., Eric, K. L., Ronald, M. R., Stella, W. P. and Diego, M. C., "Real-Time Shape Evolution of Nanoimprinted polymer Structures during Thermal Annealing" Nano Letters, Vol. 6, No. 8, pp. 1723-1728, 2006.
5. Hesham, A. and Ebtisam, H., "Annealing Effect on Microhardness and Elastic Constants of PMMA," Polymer-Plastics Technology and Engineering, Vol. 42, No. 4, pp. 543-554, 2003.