

## 미세 광소자용 도파로 정밀 복제기술 연구

오승훈\*(부산대 기계공학과), 김창석(부산대 나노기술학과), 정명영(부산대 나노기술학과),  
부정숙(부산대 기계공학과)

### Precise Replica Technology Study for Fine Optical Waveguide Device

S. H. Oh(Department of Mechanical Eng. PNU), C. S. Kim(Department of Nanotech. PNU),  
M. Y. Jeong(Department of Nanotech. PNU), J. S. Boo(Department of Mechanical Eng. PNU)

#### ABSTRACT

In this paper, we describe a simple, precise and low cost method of fabricating PDMS stamp for UV embossing. It is important to improve the replication quality of stamp because the accuracy of fabricated structure is related to that of the stamp in UV embossing. The PDMS stamp has been fabricated by the replica molding technology with ultrasonic vibration to eliminate micro-air bubbles during the fabrication process of PDMS stamp. Also, this fabrication to use ultrasonic vibration promotes PDMS solution to fill into micro channel and edge parts. We report the fabrication of an optical core using UV embossing with fabricated PDMS stamp. This fabricated core is 7  $\mu\text{m}$  at depth, 6  $\mu\text{m}$  at width. This measured value has the difference below 1  $\mu\text{m}$  compared to the original stamp. The surface roughness of core is about 14  $\text{nm}$  root mean square. This is satisfactory value to use low-loss optical waveguide. Our successful demonstration of precise replica technology presents an alternative approach for the stamp of UV embossing.

**Key Words** : 광 도파로, UV embossing, PDMS, Replica molding, ultrasonic system

#### 1. 서론

인터넷 이용 등의 폭발적인 증가에 따른 정보통신 용량의 수요를 만족시키기 위해서 광통신 기술의 채용이 확대되고 있다. 이러한 광통신 기술 발전은 FTTH(Fiber to the Home)의 도입을 촉진시키고 있으며, 이에 따라 광소자의 저가격화가 경쟁력의 중요한 요소가 되었다. 이로 인해 저온(<300°C)공정과 저가 및 대량 생산 공정이 가능한 고분자 광소자용 도파로 제조 기술이 기존의 RIE(Reactive Ion Etching) 기반의 석영 및 실리카 소자의 대안으로 대두되어 활발한 연구가 진행되고 있다. 현재 사용되고 있는 미세 광소자용 고분자 광도파로의 제조는 주로 사출성형, Photolithography 와 RIE, Laser ablation 및 핫 엠보싱, UV 엠보싱 등의 공정에 의해 이루어지고 있다.

사출성형은 매우 빠른 속도로 제조가 가능하지만 기관재료와 적절한 금형재료의 유용성에 의해 제약

되어지고 마이크로 금형 구조물의 손상 등 여러 가지 문제를 수반한다.<sup>1</sup> Photolithography 와 RIE<sup>2</sup>은 긴 공정시간, 고가의 공정이 요구되며 Laser ablation 은 레이저 빛과 폴리머 물질의 반응이 빛을 받지 않은 부분과 비교시 표면의 수평을 야기시킨다.<sup>3</sup> 핫 엠보싱공정은 열가소성 수지에 스탬프로 누르는 물리적인 공정이며, 높은 압력과 높은 온도가 필요하여 금형구조물의 손상 및 긴 공정시간 등의 제약을 가지고 있다.<sup>4</sup> 이에 비하여 UV 엠보싱 공정은 UV 경화 고분자를 스탬프로 가압한 후 UV 조사를 통한 고분자의 광 중합반응에 의해서 경화시켜서 스탬프의 패턴이 고분자 박막에 전사되므로 다른 공정에 비하여 저압, 상온 공정으로 이루어져서 공정시간이 매우 짧고 단순하여 고품질의 미소 광소자를 저가에 대량 생산할 수 있는 이점을 가지고 있다.<sup>5</sup>

UV 엠보싱을 통한 고분자 광도파로에 있어서 광손실은 광도파로 소자의 특성을 결정짓는 가장 중요한 요소이다. 광손실은 광도파로 소재 자체의 물

성과 광도파로 제작공정에서 생기는, 결합에 의해 영향을 받는다. UV 엠보싱의 경우, 성형된 최종 구조물인 광도파로의 형상은 스탬프의 정밀도에 직접적으로 연계되어 있기 때문에 스탬프의 제작기술은 UV 엠보싱의 핵심 요소 기술이라고 할 수 있다.<sup>6</sup> 이런 UV 엠보싱용 스탬프는 UV 투과성 재질인 석영과 유리, PDMS 고무 등에 의해 만들어진다. 석영 및 유리 스탬프는 긴 공정 시간과 고가의 장비로 인한 제한적 요소가 수반되나 PDMS 고무는 대면적 패턴링이 가능하며 다른 화학 물질과 반응성이 아주 작아 형상비, 기하학적 설계 등에 관계없이 복제할 수 있으며, 계면에서 접촉되지 않는 이점을 가지고 있다. 그러나 PDMS 스탬프의 제조시 발생하는 기포와 PDMS 용액의 원형 금형의 채널의 미충진은 최종 구조물의 정밀도에 영향을 미친다. 따라서, 본 논문은 한 개의 광신호를 다중에게 전송하는데 사용되는 광가입자망의 핵심부품인 광스플리터용 금형 제작을 초음파 진동을 접목한 Replica molding 을 사용하여 기포제거 및 충전효과를 도모하여 정밀한 UV 엠보싱용 PDMS 스탬프를 제작하였다. 또한, 이를 이용한 UV 엠보싱을 통하여 광도파로 코어채널을 정밀하게 형성하여 PDMS 스탬프의 유효성을 확인하고자 한다.

## 2. PDMS 스탬프 제작 및 광커플러 코어 형성

### 2.1 스탬프 제작에서 기포생성 및 제어기구

Replica molding 을 통한 PDMS 스탬프의 제작에 있어 발생하는 기포의 형성은 다음의 요인으로 구분하여 설명할 수 있다.

첫째로, 점도가 높은 PDMS 용액이 미세 채널 및 모서리 부분으로 주입될 때 표면에서의 충전과정에서 빠져나가지 못한 공기로 인하여 미세 기포가 형성되는 것이다. 이런 현상은 점도가 높을수록 많이 발생하며 표면조도가 거칠 때 표면에서의 충전과정에서 빠져나가지 못한 공기로 인해서 기포가 형성되는 것이다. 둘째로, PDMS 를 원형금형에 떨어뜨릴 때 떨어지는 액적의 중심부가 표면에 접근할 때, 중심부에서 발생하는 최대압력으로 인해 액적의 중심부에 함몰부위를 형성케 하여 액적이 기관에 부착할 경우 미세 기공이 형성된다. 이런 과정에서 생긴 미세 기공은 PDMS 의 열경화 과정에서 성장하게 되고 이들이 PDMS 의 높은 점성에 의해 빠져나가지 못하므로 인해 존재하는 기포들은 UV 엠보싱 공정시 스탬프의 균일한 압력제어에 제약을 가져오게 된다. 또한, 기포가 스탬프의 캐비티에 존재시 최종 구조물의 정밀도에 영향을 미치게 되는 것이다. 일반적으로 기포는 진공 상태에서의 공정을 통하여 제거하는 방식이 이용되었으나, 이는 점

도가 높을수록 공정 시간이 길고 고가의 진공 장비가 필요하며 또한 미세 패턴의 충전 효과는 도모하지 못한다. 이에 비하여 기포에 대한 초음파 진동의 작용은 기포가 공진 반경 부근에서 큰 진폭과 팽창을 겪는 과정을 겪고 이를 통한 압력구배의 영향으로 부력을 받으므로 기포는 상승하여 소멸하게 되는 것이다. 그리고 초음파의 진동에너지를 통해서 미세 채널의 충전효과를 극대화시킬 수 있다. 따라서, Replica molding 을 통한 PDMS 스탬프 제조시 초음파 진동의 접목은 미세 기포제거 뿐만 아니라 정밀한 복제 기술을 위한 주요한 방법이다.

Fig. 1 은 초음파 진동을 사용하지 않은 Replica molding 을 통해 기포가 제거되지 않은 PDMS 스탬프의 Y 분기 부근에서의 기포의 이미지를 3 차원 광학측정기를 통해 나타내었다.

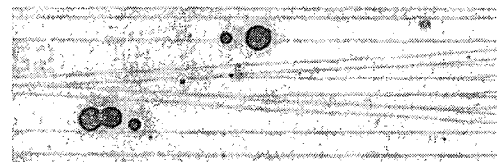


Fig. 1 PDMS stamp with bubble without using ultrasonic vibration

### 2.2 UV 엠보싱용 PDMS 스탬프 제작

Fig. 2 에 PDMS 스탬프 제작 공정도를 나타내었다.

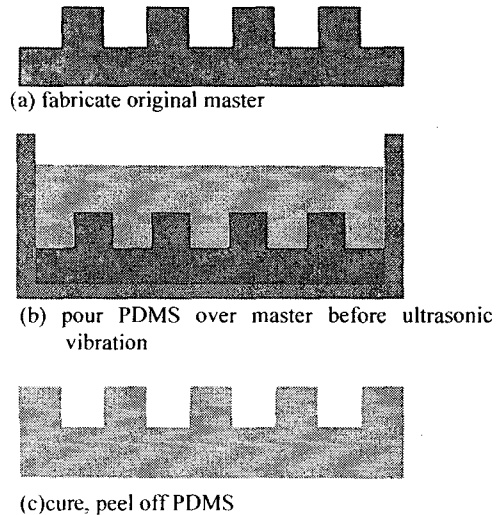


Fig. 2 Sequence of PDMS stamp fabrication process

UV 엠보싱용 PDMS 스탬프를 Replica molding 으로 제작하기 위해서는 원형 스탬프가 있어야 한다. 본 연구에서 사용한 원형 금형은 4 인치 석영 금형으로서 Photolithography 와 RIE 로 제작된 1×8 스플

리터 금형으로 높이는  $7\ \mu\text{m}$ , 선폭은  $6\ \mu\text{m}$ 이다. 사용된 PDMS 용액은 Dow Corning 사의 Sylgard™ 184 을 사용하였으며, 전구체와 경화제가 10:1 의 일정 비율로 혼합되어 충분히 안정화 시간을 거친 상태의 고분자 용액이다. 이 안정화된 PDMS 를 스플리터 금형에 UV 엠보싱용 금형으로 사용하기 위하여 충분한 두께가 유지되도록 붓는다. 그리고 패턴사이의 PDMS 용액의 충전효과의 극대화 및 포집된 기포를 제거하기 위하여 초음파 진동을 사용하였다. 기포가 제거된 PDMS 용액은 핫 플레이트를 통한 경화과정을 걸쳐 PDMS 를 원형 금형에서 떼어 내어 Fig. 3 에 제시된 4 인치 UV embossing 용 PDMS 스탬프를 제조하였다.

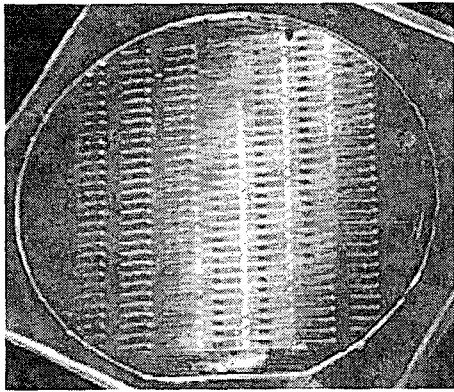


Fig. 3 PDMS stamp for UV embossing

### 2.3 UV 엠보싱에 의한 광 커플러 코어 형성

본 연구에서 사용된 UV 엠보싱 성형시스템은 고압수는 램프를 사용하였으며 광량은  $20\text{mJ}/\text{cm}^2$  에서  $70\text{mJ}/\text{cm}^2$  까지 범위로 조절가능하며, 유압식 가압시스템을 통하여 최대 100kgf 까지 가압이 가능한 시스템으로 구축되어진 UV 엠보싱 장비를 사용하였다.

제작된 UV 엠보싱용 PDMS 스탬프를 사용하여 광소자용 도파로의 코어용 채널의 형성과정은 Fig. 4 에 도시하였다. 먼저 정밀하게 복제된 PDMS 스탬프의 미세채널에 UV 경화용 에폭시 수지를 표면장력을 이용하여 충전하고, 초음파 진동을 통해 미세 채널의 충전 효과를 도모하였다. 그 후 하부클래드로 사용될 PMMA 를 구배를 주어 덮은 후 잔류층을 제거하기 위해서 적절한 압력을 가했다. 압력이 가해진 상태에서 UV 조사를 통한 광 중합반응에 의해 UV 경화용 수지를 경화시켰다. 그 후 PDMS 스탬프를 이형시켜 하부 클래드인 PMMA sheet 위에 코어용 채널을 정밀하게 형성할 수 있었다.

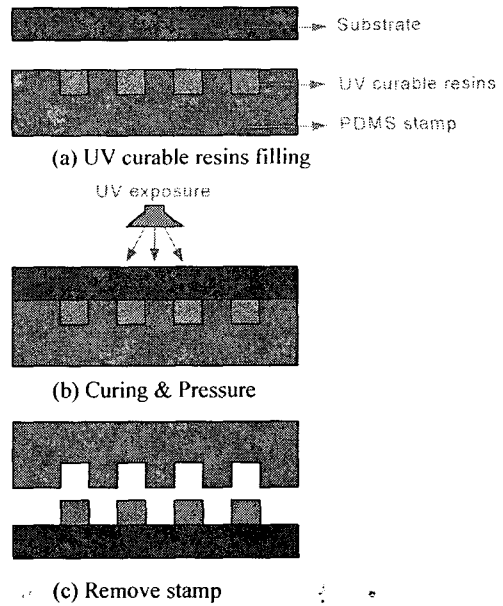


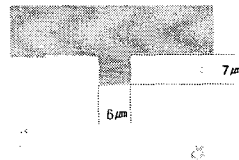
Fig. 4 Sequence of core layer fabrication process using UV embossing

### 3. 실험 결과

초음파 진동을 접목한 Replica molding 을 통해 제작된 PDMS 스탬프의 치수 정밀도를 확인하기 위해서 스탬프의 Y 분기 부분과 채널의 단면 형상을 3 차원 광학측정장비를 통해 측정하였으며 측정된 치수는 Fig. 5 에 보여지듯이 깊이가  $7\ \mu\text{m}$ , 선폭이  $6\ \mu\text{m}$ 으로 원형 스탬프와는  $1\ \mu\text{m}$  이하의 편차를 가지고 정밀하게 복제 되었다.



(a) Details of thermally cured PDMS with 1? channel



(b) Configuration of cross section

Fig. 5 The Branch area of PDMS stamp by replica molding

그리고 원형 금형을 정밀하게 복제한 PDMS 스탬프를 사용한 UV 엠보싱을 통해 제작된 광도파로 코어용 채널의 형상 정밀도를 3 차원 광학 측정기

와 알파스텝을 이용하여 측정하였다. 측정된 결과는 Fig. 6 에 나타냈으며 높이가 6.91  $\mu\text{m}$ , 선폭은 5.85  $\mu\text{m}$ 로 치수 안정성에 있어 편차가 nm 수준으로 원형 금형의 형상을 재현하였다. 이를 통해 PDMS 스탬프가 정밀하게 복제된 것을 확인할 수 있었다.

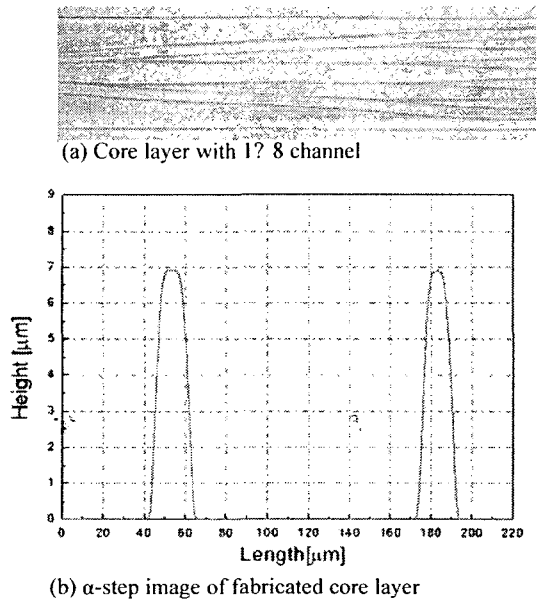


Fig. 6 The Branch area of core layer by UV embossing

광도파로내에서의 산란손실은 표면 거칠기의 제곱에 비례하면서 증가하므로 고분자 광도파로에서의 표면 거칠기는 광손실의 주요인이다.

Fig. 7 은 본 실험에서 제작된 코어의 표면조도를 AFM 을 통해 측정된 결과이며, 측정된 값은  $R_{rms} \approx 14\text{nm}$  로서, 산란 손실값은 0.02dB 로 광도파로로 사용하기에 충분한 수준이다.

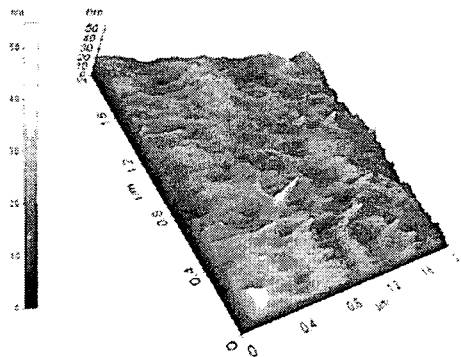


Fig. 7 Surface roughness of core layer by AFM

#### 4. 결론

본 논문은 기존에 사용되고 있는 긴 공정시간과 고가의 장비로 재약을 가지는 스탬프를 대체하여 광도파로 코어용 채널을 원형과 나노미터 수준의 편차를 가지고 정밀하게 제작한 결과이다. 초음파 진동을 접목한 Replica molding 으로 기존의 진공모드를 통한 기포 제거방법을 대체하였을 뿐만 아니라 충전 특성을 향상시켜서 깊이가 7  $\mu\text{m}$ , 선폭이 6  $\mu\text{m}$ 인 4 인치의 1x8 스폰리터 금형을 원형 금형과 1  $\mu\text{m}$ 이하의 편차를 가지고 정밀 복제하였다. 이를 사용하여 UV 엠보싱으로 제작된 광도파로 코어용 채널은 원형 금형과 나노미터 수준의 편차를 가지고 정밀하게 제작되었으며 표면조도는  $R_{rms} \approx 14\text{nm}$  으로 저손실 광도파로로 사용하기에 충분한 수준이었다.

#### 후 기

본 연구는 2005 년도 한국과학재단 지정 우수연구센터(ERC)(과제번호:R11-2003-022-03002-0)지원으로 수행되었으며 이에 감사를 표합니다.

#### 참고문헌

1. A.Olsson, O. Larsson, J.Holm, L.Lundbladh, O.Ohman, and G.Stemme, ; "Valve-less diffuser micropumps fabricated using thermoplastic replication" in Proc. IEEE MEMS 97, pp 305-310, 1997
2. Y. Zhao, D.M. Zhang, F. Wang, Z.C. Cui, M.B. Yi, C.S Ma, W.B. Guo, S.Y. Liu, ; "Fabrication techniques for polymer/Si optical waveguide" Optics & Laser Technology 36, pp 657-660, 2004
3. J.S.Koo, R.B.Williams, C.B.E. Gawith, S.P.Watts, G.D.Emmerson, V.Albanis, P.G.R.Smith and M.C.Grossel, "UV written waveguide devices using crosslinkable PMMA-based copolymers" Electronics Letters 20th February 2003 Vol.39 No.4.
4. 최춘기, 김병철, 한상필, 안승호, 정명영, 및 ot Embossing 기술을 이용한 병렬 광접속용 고분자 광도파로 제작? Hankook Kwanghak Hoeji, Volume 13, Number 3, June 2002
5. Woo-Soo Kim, Jong-Hwan Lee, Sang-Yung Shin, fabrication of Ridge Waveguides by UV Embossing and Stamping of Sol-Gel Hybrid Materials,? IEEE Photonics Technology Letters, VOL. 16, NO.8, 2004
6. 정준호, 심영식, 손현기, 신영재, 이용숙, 허익범, 권성원, 박V 나노임프린트 리소그래피용 UV 투과성 나노스탬프 제작,? 대한기계학회 2003 년도 춘계학술대회 논문집