

Soft lithography 를 이용한 마이크로 광학소자 제작 연구 Fabrication of Micro Optical Devices by Soft lithography

*조상욱¹, 류진화¹, 이태호¹, 김창석¹, #정명영¹
*S. U. Cho¹, J. H. Ryu¹, T. H. LEE¹, C. S. Kim¹, #M. Y. Jeong(myjeong@pusan.ac.kr)¹
1 부산대학교 나노융합기술학과

Key words : Soft lithography(소프트 리소그래피), Optical devices (광학소자), MIMIC(모세관내 미소몰딩)

1. 서론

고분자 광학 소자에서 코어층의 정밀도는 광학적인 특성 구현 정밀도를 결정하는 중요한 요소중의 하나이다. 기존의 마이크로 광학소자의 코어층 성형 방법은 패턴 성형 후 스펀코팅 또는 가압방식을 주로 이용한다. 스펀코팅의 경우는 코어 층 성형공정에서 잔류층 제어의 한계성을 내포하고 있으며, 가압방식의 경우는 가압 공정시 채널 내부의 기포 발생에 의한 결함의 가능성을 내포하고 있다. 따라서 최근 코어층 성형 공정연구에 의한 고정밀 고분자 광학 소자 제작을 위한 공정연구가 활발히 수행되어지고 있다.^{1,2} 현재 고정밀 코어 성형 공정연구 중에서 탄성체 금형 제작을 통한 광학소자를 제작하는 소프트 리소그래피(Soft lithography) 연구가 활발하게 진행되고 있다. 소프트 리소그래피 공정은 탄성체 금형의 낮은 표면에너지와 탄성적인 특성에 의하여 기판 표면의 형상, 패턴의 구조적인 제약 없이 패턴 복제가 가능하여 광학소자, 디스플레이, 센서 등의 분야에 폭넓게 응용되고 있다.^{1,2}

따라서 본 논문에서는 고분자 광학소자의 상부클래드와 하부 클래드 사이에 존재하는 코어레진의 잔류층 제어 및 기포에 의한 결함 제어를 목적으로 소프트 리소그래피 공정에 의한 광학소자 제작 연구를 수행하였다. 먼저 광학 소자 설계에 의한 원형 마스터를 제작하고, 원형 마스터의 복제 공정에 의하여 탄성체 금형을 제작하였다. 그리고 탄성체 금형과 기판을 정합 접촉하여 형성된 코어패턴 내부에 모세관내 미소 몰딩(MIMIC : Micromolding in Capillaries) 기법으로 코어층을 형성한 다음 상부 및 하부클래드 제작에 의하여 광학소자를 제작하였다.

2. 연구내용 및 연구방법

2.1 마이크로 광학소자 설계

본 논문에서 설계된 마이크로 광학소자는 Fig. 1 과 같이 1 채널 입력부의 광신호를 2 채널 출력부를 통해 50:50으로 분리하는 1x2 splitter 이다. 기본적으로 상하부클래드, 코어층으로 구성된 멀티모드 도파로 구조를 갖는다. 구성하는 코어와 클래드 층의 굴절률은 각각 Core=1.49674 와 Clad=1.4856 이고, 해당하는 굴절률 차이는 0.75%이다. 도파로의 폭 w=180 μm, 높이 h=180 μm 이며, 2D-BPM 으로 설계하였다.

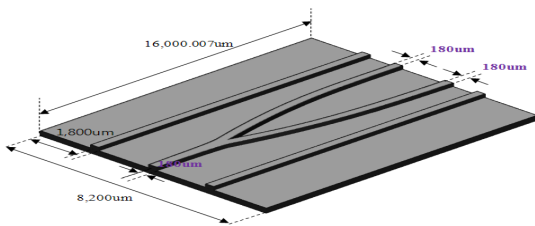


Fig. 1 Schematic view of 1x2 splitter Optical devices

2.2 유연 스탬프 제작

정밀한 패턴을 주조한 유연 스탬프는 Soft lithography 의 핵심적인 구성 요소이다. Fig. 2 와 같이 Relief 패턴 구조를

가지는 마스터에 액체상태인 프리폴리머를 주조하여 만들어진다. Soft lithography 의 대부분의 유연 스탬프의 재료는 폴리디메틸실록산(PDMS)를 사용한다.^{3,4}

유연 스탬프 제작은 PDMS 의 주체와 경화제를 일정비율(10:0.9)의 혼합에 의하여 이루어졌다. 제조된 혼합액은 SAM 코팅이된 원형 마스터 표면에 도포하여 충전유도 및 기포제어를 위해 초음파 환경내에서 가열공정으로 경화를 시켰다. Fig. 2 은 유연 스탬프의 제작과정을 나타내었으며, 주조된 유연 스탬프는 제작된 원형 마스터와 1%이하의 치수 정밀도로 구현 할 수 있다. 또한 원형 마스터의 SAM 코팅으로 인하여 분리시 발생하는 패턴의 손상을 최소화 할 수 있다.

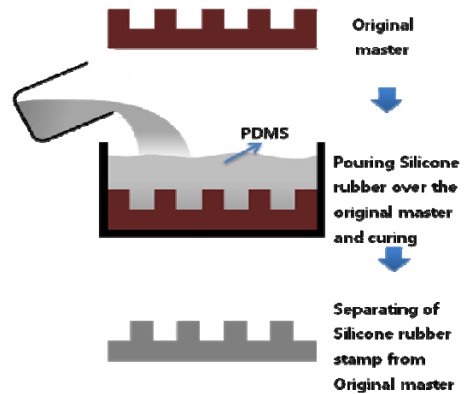


Fig. 2 Process scheme for the fabrication of the elastomeric stamp

2.3 MIMIC 을 이용한 코어층 성형 및 광학소자 제작

소프트 리소그래피 공정에서 모세관력을 이용하는 MIMIC 기법은 탄성체 금형과 기판의 정합 접촉으로 이루어지기 때문에 광학소자의 코어층 제작에서 코어레진에 의한 잔류층이 존재하지 않는 정밀한 형상구현이 가능하다. 그리고 코어레진이 미세채널의 입구부분에서부터 출구부분까지 순차적으로 충전이 이루어지기 때문에 기포발생의 문제점 또한 해결할 수 있는 기법이다.

광학소자의 코어층 형성은 제작된 탄성체 금형의 미세 채널이 양쪽단에서 모두 개방되도록 한 다음 기판과 정합 접촉이 이루어지도록 하였다. 그리고 광학소자의 코어레진 (Chem Optics Co. WIR30-500)을 1x2 광분배기용 패턴의 입력단 부분에서부터 주입되도록 하였다. 코어레진은 탄성체 금형의 내부에서 표면장력 및 모세관력에 의하여 광분배기용 패턴의 출력단까지 순차적으로 완전히 충전됨을 확인하였다. 그리고 충전된 코어레진은 자외선 노광공정으로 코어층을 제작 제작하였으며, 이때 코어레진의 자외선 노광 공정에서 산소와의 반응에 의한 미경화문제 및 굴절률 변화를 방지하기 위하여 질소 환경내부에서 365nm 파장의 자외선으로 5 분간 수행하였다. 제작된 코어층은 잔류층이 확인되지 않았으며, 또한 코어내부의 기포 없이 균일하게 제작되었다. 그리고 소프트 리소그래피 공정에 의한 코어 성형의 신뢰성 검증을 위하여 5 개의 샘플을 제작하였으며 원형 마스터와 제작된 샘플을 α-step (KLA Tencor Co. US/Alpha-step IQ) 장비를 사용하여 치수 측정 후 비교한 결과 1%이하의 치수안정성을 가지고 균일하게 제작됨을 확

인하였다. Fig. 3 는 MIMIC 기법을 이용한 광학소자의 코어 제작 공정을 나타내고 있으며, Fig. 4 는 제작된 코어의 치수 정밀도를 측정 한 결과이다.

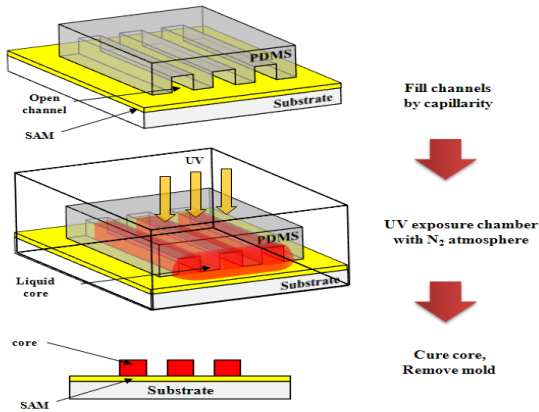


Fig. 4 Process scheme for the fabrication of the Core layer

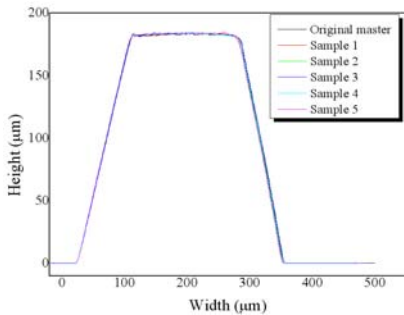


Fig. 5 Measurement of the Core layer using MIMIC

광학소자 제작은 MIMIC 에 의해 제작된 코어의 상하부에 클래드(Chem Optics Co. WIR30-480)레진을 도포하여 형성 하였다. 코어층은 SAM 코팅층 상부에 성형되어 있어 상부 클래드 제작 후 코어층의 변형 없이 기판과 분리가 가능하다. 상부클래드 형성 후 하부층을 도포하여 하부클래드를 제작하였다. 상하부 클래드 모두 같은 물질의 레진 이므로, 자외선 경화시 발생하는 열에 의한 상하부 클래드 계면의 벌어짐 현상을 보완할 수 있었다. Fig. 5 에 광학소자의 제작 방법 및 제작된 광학소자의 단면 이미지를 나타내었다.

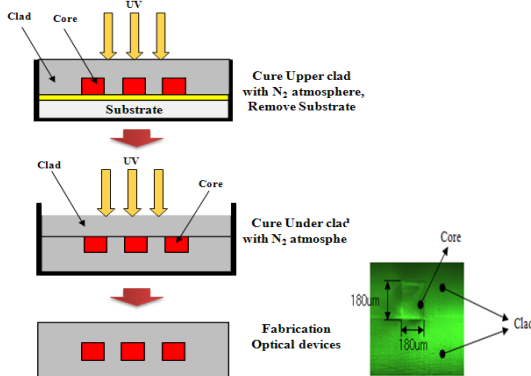


Fig. 6 Process scheme for the fabrication Optical devices and Cross section image

3. 광학소자 특성 측정 및 결과

소프트리소그래피 공정에 의해 제작된 1x2 광분배기 소자의 특성을 측정하기 위하여 광원으로 부터 나오는 850nm 광을 50 µm 멀티모드 광섬유를 통하여 광학소자에 입

력시키고, 광학소자의 출력부를 200 µm 광섬유를 통하여 각각의 채널 광 파워 값을 측정하였다. Table 1 은 광학소자의 출력부 채널에서 삽입손실 측정값을 나타내었다. 제작된 광학 소자는 평균 3.5dB 의 삽입손실이 측정되었으며, 채널 균일도는 0.5dB 로 확인되었다. 일반적으로 광통신에 사용 중인 1x2 광분배기의 경우 약 3dB 의 손실을 갖는 것이 이상적이다. 하지만 멀티모드의 경우 0.8~1dB 의 손실특성을 가지고 있으므로 멀티모드는 이를 고려하여 측정 하여야 한다. 따라서 제작된 광분배기의 경우 평균 3.5dB 로 광학소자의 광학특성을 만족하였다. Fig. 6 은 제작된 광학소자에 광신호를 입력하여, 출력되는 2 개 채널의 Beam profile image 로서 균일한 도파 특성을 확인하였다.

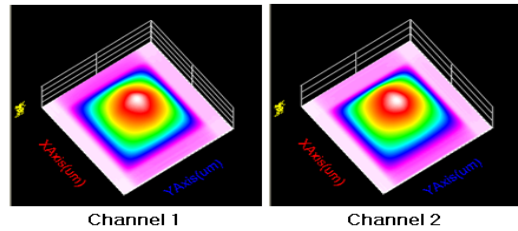


Fig. 7 The Beam profile image of fabricated Optical devices

Table 1 Measurement of Optical Power in Splitter Channel

Channel	Channel 1	Channel 2
Sample 1	3.156	3.58
Sample 2	3.048	3.804
Sample 3	3.016	3.757
Sample 4	3.254	3.652
Sample 5	3.344	3.503

4. 결론

본 연구는 광학소자 제작에서 발생하는 잔류 코어층 및 잔류 기포에 의한 코어층의 결함을 해결하기 위하여, Soft lithography 기술을 이용하였다. 제작된 코어층은 MIMIC 기법으로, 잔류층 제어 및 채널 내부의 기포로 인한 코어의 결함을 최소화 하여 1% 이하의 치수정밀도를 가지는 광학소자를 제작 하였다. 제작된 광학소자는 약 3.5dB 의 손실을 가지며, 채널 균일도 0.5dB 로 우수한 광학적 특성을 보이는 광학소자를 제작 하였다.

향후 공정기법의 보완연구가 이루어 진다면 광학소자를 위한 저비용 및 광학소자의 특성향상 기술에 유효한 기법이 될 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 한국과학재단 우수연구센터사업인 집적형 광자기술 연구센터(R11-2003-022)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 신영재, 조정대, 이용숙 "소프트리소그래피 기술동향" 한국정밀공학회지 제 20 권 제 4 호 2003
2. Yehai Yan. et al, "Rapid Replication of High Aspect Ratio Molds for UV Embossing", (2002).
3. Yehai Yan, Mary Bee-Eng Chan-Park, and Chee Yoon Yue, "Rapid Replication of High Aspect Ratio Molds for UV Embossing," 2002.
4. Se-Jin Choi. et al, "An Ultraviolet-curable Mold for Sub-100-nm Lithography", JACS, (2004).