

임프린트 기반 마이크로 광도파로의 변형 특성 연구

Dimensional Stability of an Imprinted Microoptic Waveguide

류진화¹, 김창석¹, ✉정명영¹
Jin Hwa Ryu¹, Chang Seok Kim¹ and ✉Myung Yung Jeong¹

¹ 부산대학교 나노과학기술대학 (College of Nano science and technology, Pusan National Univ.)

✉ Corresponding author: myjeong@pusan.ac.kr, Tel: 055-350-5284

Manuscript received: 2008.6.26 / Revised: 2008.9.2 / Accepted: 2008.9.2

We have studied the characteristic changes of optical device using imprint lithography. An imprinted structure is inherently involved in residual stress due to the temperature and the pressure cycle during fabrication process. A structure with residual stress undergoes stress relaxation, which leads to dimensional change. Therefore, annealing processes was performed to reduce the residual stress of imprinted polymer channel. Reduction of residual stress was confirmed through dimensional change, birefringence, and the mechanical properties. We have fabricated an optical device, and it saw the optical intensity changes within 0.1 % for 1 month.

Key Words: Imprint Lithography (임프린트 리소그래피), Residual Stress (잔류 응력), Long-term Reliability (장기간 신뢰성), Optical Waveguide (광도파로)

1. 서론

지식정보화 사회의 고도화에 따라 정보 전송량의 수요를 충족시키기 위하여 고집적화 및 광대역폭의 소자 수요가 늘어나고 있다. 이러한 수요를 충족시키기 위하여 최근에 광집적회로(Photonic Integrated Circuit, PIC)에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 2005년에 제시된 ITRS road map에서는 2010년까지 DRAM Half pitch가 45nm 정도로 꾸준히 작아질 것이라고 예측하였다.

이러한 추세에 대응하여 마이크로/나노 구조물의 제작 공정에 관한 연구가 현재 활발하게 진행되고 있으며, 그 중 저가격화의 관점에서 각광받고 있는 방법이 고분자를 이용한 소자 제작기술이다. 현재 고분자를 이용한 고집적화 소자의 제작 방법 중에서 임프린트 리소그래피(Imprint lithography)¹ 공정이 부각되고 있다. 임프린트 공정은

미세 구조물을 가진 금형을 폴리머 층과 물리적으로 접촉시켜 미세 패턴을 직접 전사시키는 기법으로 단순한 공정, 짧은 공정시간 및 저렴한 공정비용으로 미세 구조물의 대량 복제가 가능하여 다른 공정에 비해 상당한 장점이 있다. 그리고 회절한계, 집적공정기술에 따른 각종 부대비용 증가에 따른 집적 공정 기술의 한계를 가진 기존의 광학 리소그래피와 달리 임프린트 공정에 의한 패턴 복제는 금형에 직접적으로 의존하므로 수 nm의 해상도(Resolution)까지 구현이 가능하다. 현재 임프린트 공정은 VLSI 소자 제작을 위하여 공정장비, 금형 제작/공정연구, 그리고 생체소자/광학소자 제작에의 응용연구가 활발히 이루어지고 있다.^{2,3} 그러나 고분자를 이용한 소자 제작 기술의 안정화를 위해서는 장기간에 걸쳐 소자의 특성이 균일하게 유지되어야 한다. 이러한 고분자 소자의 특성은 가공공정 중에 발생된 내부 응력 및 표면장력 등

의 요소에 의하여 영향을 받게 된다. 따라서 고분자 소자의 안정화를 위해서는 장기간 신뢰성 연구가 반드시 필요하다. 마이크로/나노 구조물의 신뢰성 연구는 H.-C Scheer,⁴ et al., Ronald L. Jones,⁵ et al., Yiuf Ding,⁶ et al. 등에 의하여 임프린트 공정 동안의 형상변화 그리고 임프린트된 구조물의 시간과 온도에 따른 실시간 형상 변화 연구를 통하여 이루어지고 있으나 아직 장기간 신뢰성 연구는 이루어지지 않고 있는 상황이다.

임프린트 공정은 온도와 압력 그리고 시간을 변수로 고분자를 유동시켜 금형의 미세구조물을 이루는 모든 면과 접촉 되도록 하여 패턴을 복제하는 공정이다. 이때 고분자는 급격한 유동 및 상(Phase)변화에 의하여 고분자를 구성하는 기본 사슬의 구조가 불안정하게 유지되어 내부에 응력이 발생하게 되고 최종적으로 잔류응력으로 존재하게 된다. 잔류응력을 가지고 있는 임프린트된 구조물과 금형을 분리하게 되면 고분자 구조물은 표면장력과 고분자 사슬의 안정화 거동에 의한 재배열이 발생하게 되어 복굴절(Birefringence), 탄성계수(Elastic modulus), 경도(Hardness)⁷ 등에 영향을 미치고 최종적으로 고분자 소자의 치수 변화를 초래하게 된다. 잔류응력은 고분자의 점탄성 특성에 의하여 시간에 따라 지수적으로 감소하면서 응력 완화 특성을 가지게 된다. 응력의 완화거동은 고분자 구조물의 전반적인 특성변화를 유도하게 된다. 잔류응력을 가지고 있는 고분자 구조물은 특정 온도에서 일정시간의 어닐링(Annealing) 공정을 거치게 되면 고분자 내부의 결합구조가 안정화 단계로 재배열이 이루어져 응력이 완화되는 특성이 있다.

따라서 본 연구에서는 임프린트된 구조물의 장기간 신뢰성 연구를 목적으로 수행되었다. 먼저 열가소성 고분자인 PMMA(Poly methyl methacrylate) sheet 를 사용하여 임프린트 공정을 수행하였으며, 공정 중에 발생된 잔류응력을 완화 시키기 위하여 PMMA sheet 의 열처리를 통한 어닐링 공정을 수행하였다. 그리고 광도파로를 제작하여 잔류응력에 의한 영향을 확인하였다.

2. 고분자 광도파로 제작

광도파로의 고분자 채널은 임프린트 공정 중 에서 핫엠보싱(Hot embossing) 공정으로 제작하였으며, 이때 금형의 형상과 동일한 고분자 채널을 제작하기 위하여 온도, 압력, 시간, 그리고 이형은

도의 공정조건을 최적화 하였다. 그리고 제작된 고분자 채널의 장기간 신뢰성 검증을 위하여 고분자 채널의 치수변형이 발생하지 않는 유리전이 온도(Tg) 이하에서 어닐링 하였다. 고분자 채널의 어닐링 전후의 특성을 파악하기 위하여 α -step 에 의한 치수 정밀도, 편광현미경에 의한 복굴절 그리고 나노인텐터에 의한 고분자의 탄성계수와 경도의 기계적 특성을 측정하였다. 그리고 최종적인 광도파로를 제작 하여 평가하였다.

2.1 임프린트 금형 제작

금형의 제작은 pitch 250um, width 50um, 12ch 의 4inch 포토마스크를 사용하여 포토리소그래피와 에칭공정에 의하여 제작하였다. 금형의 제작은 실리콘 웨이퍼를 사용하였으며, 포토레지스트로는 양성감광액인 AZ7260 을 사용하였다. 노광공정은 MA6 장비를 사용하여 405nm 의 파장에서 900mW/J 의 광량으로 30 초간 수행하였다. 그리고 에칭 공정은 Multiplex PPD(STS Co.) 장비를 사용하여 보쉬(Bosch) 공정으로 수행하였다. 이때 에칭 가스로 SF₆ 130sccm, O₂ 13sccm 이 사용되었으며, passivation 을 위하여 C₄F₈ 110sccm 이 사용되었다. RF power 는 900W, 750W 가 에칭 공정과 passivation 공정에서 각각 사용되었다. 그리고 최종적으로 50.5um x 50.1um 의 금형을 제작하였다.

2.2 고분자 채널 제작

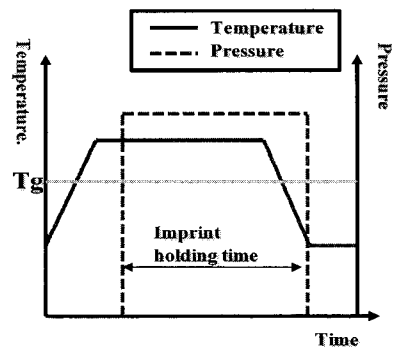


Fig. 1 Hot embossing process system

광도파로 제작을 위한 마이크로 구조물인 고분자 채널의 제작은 250um 두께의 PMMA sheet 를 사용하였으며, 임프린트 장비(Obducat Co., NIL6)로 수행하였다. 핫엠보싱 공정은 고분자를 유리전이 온도이상으로 가열시킨 다음 금형으로 고분자에

가압하여 패턴을 복제한다. 이때 압력은 고분자의 소성변형이 발생하는 온도로 냉각될 때까지 유지된다. Fig. 1은 수행된 핫엠보싱 공정 시스템의 개략도를 나타내었다.

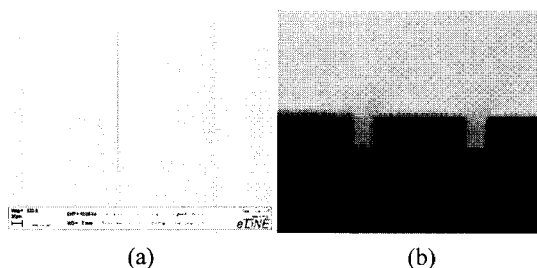


Fig. 2 Fabrication of polymer channel by hot embossing (a)SEM image of Si stamp(upper view) (b) Optical microscopy image of polymer channel(cross section)

엠보싱 공정은 고정밀도의 패턴 복제를 위하여 금형과 1% 이하의 치수정밀도가 유지되는 조건으로 수행하였다. 공정 온도는 PMMA 의 $T_g(\approx 108^\circ\text{C})$ 보다 약 50°C 높은 160°C 에서 수행되었으며, 압력 30bar, 시간 180s, 그리고 이형온도 70°C 에서 $50.1\mu\text{m} \times 49.62\mu\text{m}$ 의 채널을 제작할 수 있었다. Fig. 2(a)에 실리콘 금형과 Fig. 2(b)에 제작된 고분자 채널을 나타내었다.

2.3 고분자 채널의 어닐링

제작된 채널은 금형의 형상, 공정 온도, 압력 그리고 공정 시간 등의 요인에 의하여 고분자 내부에 잔류응력이 발생된다. PMMA와 같은 열가소성(Thermoplastic) 고분자는 선형 또는 가지형 구조의 고분자 화합물로서 가열에 의하여 유동특성을 나타내고 냉각에 의하여 현재의 형상을 유지하며, 이러한 상변화를 가역적으로 나타낸다. 따라서 공정온도와 압력에 따라 금형의 형상으로 유동한다. 그러나 핫엠보싱은 고분자의 완전유동체 단계 이전인 전이온도 영역 내에서 고분자를 유동시키므로 유동에 저항(Stress)이 발생한다. 또한 공정조건에 의하여 고분자를 구성하는 구조 중에서 결합력이 약한 부분은 분해되어 이동된다. 그리고 금형의 형상으로 유동된 고분자는 냉각단계에서 현재의 고분자 구조를 유지하면서 형상을 유지한다. 냉각된 고분자는 불규칙적인 분자배열, 불연속적인 분자 구조, 그리고 불안정한 결합구조를 가지

게 된다. 이러한 특성의 고분자는 특정온도에서 열처리하는 어닐링에 의하여 안정한 특성을 가지게 할 수 있다. 고분자는 특정온도 환경에서 곁가지(Side group)사슬의 결합, 분자의 재배열, 사슬 구조의 안정화 거동이 발생한다. 고분자의 어닐링은 온도가 주된 변수로 작용한다. 본 연구에 사용된 PMMA는 기존까지 많은 연구가 이루어지고 있으며, 고분자의 유동이 발생되지 않는 유리전이 온도 이하인 80°C 로 어닐링 하였을 때 가장 안정한 특성을 유지한다고 밝혀지고 있다.⁷ 따라서 본 연구에서는 제작된 채널내에 존재하는 잔류응력을 최소화하기 위하여 80°C 에서 어닐링을 수행하였으며, 채널의 균일한 열처리를 위하여 전기로(Yamato co., DR200)를 사용하였다. 어닐링은 1시간 동안 수행하였으며, 전기로의 온도가 상온에 도달하였을 때 채널을 대기중에 노출시켰다.

2.4 고분자 광도파로 제작

제작된 고분자 채널을 광도파로의 하부 클래드로 사용하여 고분자 광도파로를 제작하였다. 사용된 PMMA sheet의 굴절율은 $1.49(@830\text{nm})$ 이고, 코어(Cheom Optics Co. Exfine CO-156)의 굴절율은 $1.57(@830\text{nm})$ 로 광도파로의 전반사 조건에 부합된다. 광도파로의 제작은 하부클래드와 상부클래드 사이에 코어 수지가 존재하는 slab을 최소화하기 위하여 하부클래드의 끝부분에 액체의 코어 수지를 떨어뜨리고 고분자 채널을 위치 구배를 가지게 하여 최대한 채널로 유입되도록 하였다. 그리고 광손실 최소화를 위하여 하부 클래드와 동일한 PMMA sheet를 하부클래드의 한 지점에서부터 접촉시켜 전면적에 접촉되도록 하여 slab thickness를 최소화 하였다. 그리고 한쪽 면이 유리(Glass)로 되어 있는 지그(Jig) 사이에 놓고 도파로를 고정시킨 후 UV(365nm) 노광공정을 10분간 수행하였다. 광도파로의 제작은 어닐링 되지 않은 하부클래드와 어닐링된 하부클래드를 사용하여 동일한 방법으로 각각 제작하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 고분자 채널 치수 안정성

고분자 소자의 장기간 신뢰성 검정을 위하여 먼저 치수 안정성을 측정하였다. 치수안정성은 α -step (KLA Tencor Co., US/Alpha-step IQ) 장비를 사용하였으며 1개월 동안 1주일 단위로 동일 지점에

서 10um/s 의 속도로 측정하였다. 측정은 어닐링 되지 않은 샘플과 어닐링 된 샘플로 분류하여 동일 조건에서 측정하였으며, Fig. 3 에 결과를 나타내었다.

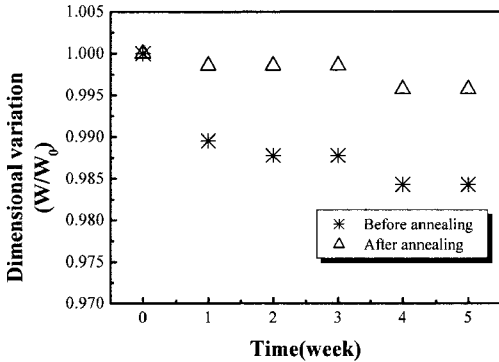


Fig. 3 Dimension variation of hot embossed polymer channel

측정결과는 채널의 폭에 대하여 이루어졌으며 초기 치수(W₀)에 대한 측정 치수(W) 결과로 나타내었다. 측정결과 1 개월 동안 어닐링 되지 않은 샘플은 0.9um 의 변형이 발생하였으며, 어닐링된 샘플은 0.3um 의 치수 변형이 발생하였다. 어닐링된 샘플의 치수변형은 전기간 동안 8.56×10⁻⁴/week 의 일정한 경향성을 가지며 안정적인 특성을 나타내었지만, 어닐링 되지 않은 샘플은 측정 초기인 1 주일 만에 98.95% (W/W₀)의 치수안정성을 유지하여 가장 큰 변형이 발생하였다. 이는 동일 기간의 어닐링 된 샘플의 99.86%의 치수안정성과 비교되는 결과 이다. 그리고 1 주일 이후부터 어닐링 된 샘플과 동일한 8.56×10⁻⁴/week 의 경향성을 가지고 변형이 발생되었다. 따라서 제작된 고분자 채널 내에 존재하는 잔류응력은 불안정한 특성으로 치수변형의 원인이 되며, 제작 초기에 가장 큰 변형이 발생됨을 확인하였다. 그리고 어닐링에 의하여 초기 응력을 분산시키게 되면 안정한 특성에 의하여 치수안정성이 향상됨을 확인하였다.

3.2 고분자 채널의 복굴절

제작된 고분자 채널내에 존재하는 잔류응력을 측정하기 위하여 편광현미경(Leica Co. DM2000)을 사용하였다. 잔류 응력을 가진 고분자에 빛을 통과시키게 되면 복굴절의 특성을 나타내게 된다. 편광현미경은 고분자 내부에 존재하는 잔류응력의 정도를 복굴절 분포로 측정할 수 있다. 따라서 복

굴절의 측정으로 고분자 내부에 존재하는 잔류응력을 측정할 수 있다. 샘플 제작은 제작된 채널을 다이아몬드 커트를 이용하여 단면을 절단하였으며, 이때 50rpm 의 저속으로 증류수를 냉각수로 사용하였다. Fig. 4 에 편광현미경에 의한 복굴절분포를 나타내었다.

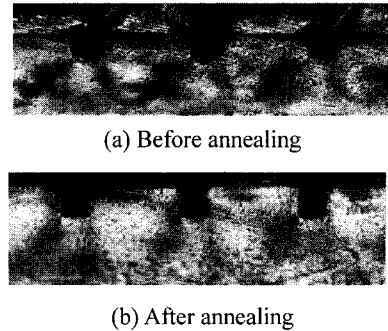


Fig. 4 Birefringence distributions of embossed channel

측정결과 Fig. 4(a)의 어닐링 공정을 수행하지 않은 샘플 단면에서 관찰되는 다채로운 색이 Fig. 4(b)의 어닐링 공정을 수행한 샘플 단면에서는 관찰되지 않았다. PMMA 와 같은 광학소자용 재료는 초기에 어느 방향으로도 굴절률, 투과율과 같은 광학적인 특성이 동일한, 광학적 등방성 특성을 가진다. 그러나 온도, 압력, 그리고 고분자의 유동 후 냉각되는 단계에서 초기의 상태와 다른 특정한 방향으로 분자의 재배열이 이루어지게 되어 광학적 비등방성의 특성을 가지게 된다. 이러한 광학적 비등방성 샘플을 두 개의 편광판(Polarizer) 사이에 위치시키고 편광판으로 빛을 입사시키게 되면 샘플은 스넬의 법칙을 만족시키는 정상광선과 만족시키지 못하는 비정상광선으로 분리되는 복굴절 현상을 나타낸다. 복굴절을 일으키는 물체를 통한 빛은 정상광선과 비정상 광선의 속도차이에 의하여 위상지연이 발생된다. 따라서 샘플을 통과한 빛을 다른 편광판으로 관찰하게 되면 두 광선의 위상차이에 의하여 간섭현상이 나타나 다채로운 색깔이 나타난다. 따라서 측정결과에서와 같이 어닐링에 의하여 응력의 분산이 발생되어 광학적 등방성 특성을 확인하였다.

3.3 고분자 채널의 기계적 특성

제작된 고분자 채널의 기계적 특성 평가는 경도와 탄성계수의 측정으로 수행되었다. 측정은 나

노인텐터(MTS Co., Nano indenter XP) 장비를 사용하였으며, 사용된 tip 은 Berkovich tip 이었다. 측정은 고분자 채널의 윗면에서 팁이 고분자 채널의 2,000nm 깊이까지 압입될 때까지 압력을 가한 후 압력을 제거하는 방식으로 수행되었다. Fig. 5 에 고분자 채널에 인가되는 하중(Load)에 따른 샘플의 변위(Displacement)를 나타내었다.

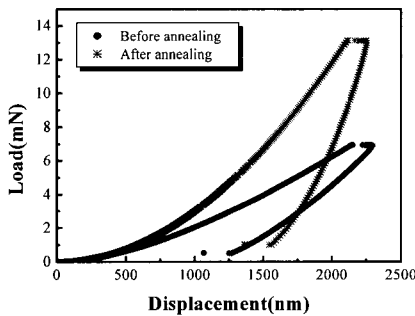


Fig. 5 Variation of displacement according to load

측정결과 어닐링 된 샘플이 동일 깊이까지 압입되기 위해서는 더욱 큰 하중이 필요함을 확인할 수 있었다. 그리고 Fig. 5 의 결과에서 기계적 특성의 평가는 고분자 채널의 깊이 500nm 에서 1,500nm 범위에서 측정되었다. 본 연구에 사용된 PMMA sheet 는 2.33GPa 의 탄성계수와 0.121GPa 의 경도 특성을 가지고 있는 고분자로서, 실험 결과의 신뢰성을 향상시키기 위하여 동일 조건에서 각각 3 개의 샘플을 제작하여 측정하였다. Table 1 에 노인텐터에 의한 기계적 특성의 결과값을 나타내었다.

Table 1 Mechanical property of embossed polymer channel

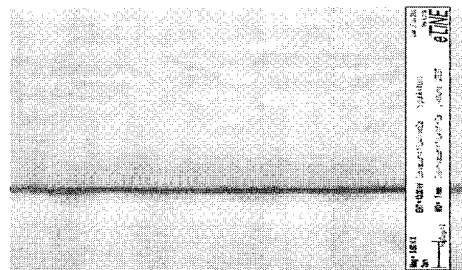
	No	Elastic Modulus (GPa)	Hardness (GPa)
Before Annealing	1	1.676	0.118
	2	1.765	0.115
	3	1.755	0.116
After Annealing	1	2.957	0.161
	2	2.986	0.164
	3	2.849	0.154

측정결과 제작된 고분자 채널의 기계적 특성은 임프린트 공정에 의하여 초기보다 감소하였으

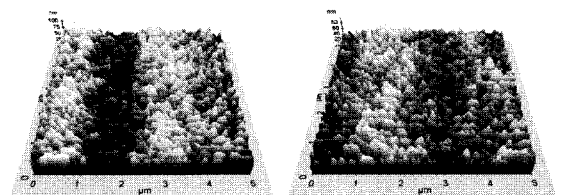
며, 어닐링에 의하여 초기 보다 증가하였다. 그리고 제작된 고분자 채널은 어닐링에 의하여 탄성계수와 경도 모두 평균 약 1.2GPa 과 약 0.04GPa 정도씩 각각 향상되었음을 확인하였다. 이러한 결과는 고분자의 유동에 의하여 형성된 채널을 구성하는 고분자가 불연속적인 사슬(Chain) 구조와 불안정한 결합 구조를 유지한 상태에서 냉각되었다가 어닐링에 의하여 고분자 구조 및 결합지 사슬의 변형이 발생되어 연속적인 사슬구조와 더욱 안정적인 결합구조로 변형되었기 때문으로 판단된다. 이러한 원인으로서는 고분자의 기본원자인 탄소-수소 결합(C-H bonds)과 기본 분자인 메틸기(Methyl groups) 의 구조가 더욱 안정된 형태로 재배열되어 결과적으로 탄성계수와 경도가 향상된 것으로 판단된다.

3.4 고분자 채널의 표면조도

고분자 광소자는 표면 거칠기가 광학적 특성에 직접적인 변수로 작용한다. 임프린트 공정 기반의 광소자는 금형 제작 특성상 측면거칠기(Side wall roughness)가 가장 중요한 변수로 작용한다. 따라서 금형의 측면 거칠기에 직접적으로 영향을 받은 제작된 고분자 구조물의 측면 거칠기를 측정하였다. Fig. 6(a)에 전자현미경과 Fig. 6(b)에 원자현미경으로 측정된 고분자 채널의 측면 결과를 나타내었다.



(a) SEM image of polymer channel



(b) SPM image of before annealing (left) and after annealing (right)

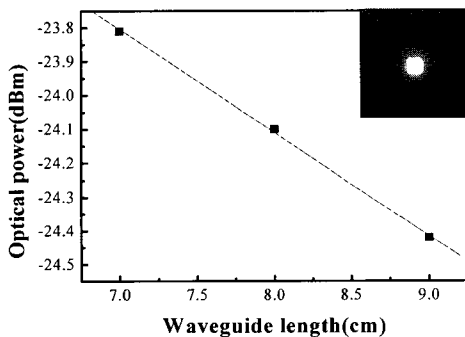
Fig. 6 Side wall of embossed polymer channel

Fig. 6(a)는 제작된 고분자 채널의 전자현미경 (Raith Co. Raith 150) 이미지로서, 고분자 채널의 측면과 밀면을 모두 나타내고 있다. 그리고 Fig. 6(b)는 Fig. 6(a)의 중간 line 을 경계로 윗면의 측면 거칠기를 정량적으로 측정하기 위하여 원자현미경 (Park systems Co. XE-100)으로 측정한 이미지이다. 원자현미경에 의한 측정은 각각 5um x 5um 의 면적으로 3 지점씩 측정되었으며 그 결과 어닐링 된 샘플의 거칠기는 RMS(Root Mean Square Roughness) 값으로 평균 12.026nm 로 나왔으며, 어닐링 되지 않은 샘플에 비하여 1~2nm 정도 향상되었다. 어닐링에 의하여 표면 거칠기는 큰 변화가 발생하지 않았으며, 이는 어닐링 온도가 고분자의 유동이 발생되지 않는 유리전이 온도 이하에서 이루어졌기 때문으로 초기의 형상을 유지한 상태에서 내부 결합구조만 안정한 상태로 변화 되었기 때문으로 판단된다.

3.5 고분자 광도파로



(a) Photo image of waveguide (cross section)



(b) Optical loss of polymer waveguide

Fig. 7 Fabricated polymer waveguide

고분자 광도파로는 어닐링 되지 않은 하부 클래드와 어닐링 된 하부 클래드를 사용하여 각각 10cm 로 제작하였으며 광손실을 측정하기 위하여 도파로의 단면을 폴리싱하고 9cm 부터 7cm 까지 cut-back method 에 의하여 1cm 간격으로 optical power 를 측정하였다. 그리고 도파로의 신뢰성을

확인하기 위하여 초기 측정값과 1 개월 후의 측정값을 비교하였다. Fig. 7(a)에 어닐링 된 하부 클래드로 제작된 광도파로와 Fig. 7(b)에 850nm 의 광원을 사용하여 IR camera 로 측정된 도파도 이미지 및 도파손실 측정값을 나타내었다.

어닐링 된 하부클래드에 의하여 제작된 광도파로의 도파손실(Propagation loss)은 0.31dB/cm(@850 nm)로 측정되었다. 그리고 제작된 광도파로의 optical power 는 길이 7cm 에서 -23.81 dBm 으로 측정되었으며, 1 개월 후 동일 길이에서 -23.83dBm 으로 측정되어 optical intensity 오차가 1 개월 동안 0.1% 이하임을 확인하였다. 그러나 어닐링 되지 않은 하부 클래드로 제작된 광도파로의 광손실은 어닐링 된 하부 클래드에 의한 광도파로와 동일한 0.31dB/cm(@850nm) 였지만 길이 7cm 의 광도파로는 1 개월 동안 -23.80dBm 에서 -23.87dBm 으로 변화 되어 optical intensity 오차가 0.3% 발생되었다. 이러한 optical intensity 변화는 잔류응력의 영향에 의하여 발생된 광도파로의 형상변형에 의한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 임프린트 공정에 의하여 제작된 광소자의 유효성 및 장기간 치수 변형성 연구를 목적으로 수행되었다.

본 연구를 위하여 먼저 핫엠보싱으로 고분자 채널을 제작하고, 고분자 채널 내에 존재하는 잔류응력에 의한 영향을 파악하기 위하여 어닐링 되지 않은 샘플과 어닐링 된 샘플로 분류하여 1 개월 동안의 채널 치수 안정성을 측정하였으며, 복굴절, 기계적 특성, 표면조도의 측정을 통하여 응력완화 거동 특성을 확인하였다. 그리고 최종적으로 광도파로를 제작하여 1 개월간의 광학적 특성을 평가하였다.

어닐링 되지 않은 고분자 채널과 어닐링 된 고분자 채널은 1 개월 동안 각각 0.9um, 0.3um 의 치수변형이 발생하였다. 어닐링 된 채널의 변화는 측정 초기부터 $8.56 \times 10^{-4} / \text{week}$ 의 균일한 경향성을 가지는 반면 어닐링 되지 않은 채널은 측정초기 1 주일 만에 가장 큰 치수변형($W/W_0=98.95\%$)이 발생하였고, 이후부터 어닐링 된 채널과 동일한 특성을 나타내었다. 그리고 이러한 치수변형의 발생원인 중에서 고분자의 내부 결합구조에 의한 영향을 확인하기 위하여 탄성계수와 경도측정을 수행하였

다. 측정결과 어닐링에 의하여 탄성계수와 경도는 각각 약 1.2GPa 과 0.04GPa 정도씩 향상되었다. 마지막으로 광소자 제작을 위한 표면조도를 측정하였으며, 측정결과 어닐링된 샘플은 어닐링되지 않은 샘플에 비하여 RMS 값으로 1~2nm 정도 향상된 12nm 정도로 측정되었다. 응력 완화연구를 바탕으로 최종적으로 광도파로를 제작하였으며, 어닐링된 채널에 의하여 제작된 광도파로는 어닐링되지 않은 채널에 의하여 제작된 광도파로보다 높은 치수안정성에 의하여 1 개월 동안 optical intensity 오차를 0.1%이내로 제어하였다.

본 연구에서는 임프린트 공정에 의하여 발생된 잔류응력을 어닐링 공정의 도입으로 응력완화 연구를 수행하였으며, 이를 통하여 광소자의 특성 향상을 검증하였다.

후 기

본 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Stephen, Y. C., Peter, R. K. and Preston, J. R., "Nanoimprint lithography," J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 14, No. 6, pp. 4129-4133, 1996.
2. Ryu, J. H., Jeong, M. Y. and Kim, C. S., "Fabrication of Nanoscale Structures using SPL and Soft Lithography," J. of KSPE, Vol. 23, No. 7, pp. 138-145, 2006.
3. Cho, I. K., Lee, W. J., Jeong, M. Y. and Park, H. H., "Optical Module Using Polymer Waveguide With Integrated Reflector Mirrors," IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 20, No. 6, pp. 410-412, 2008.
4. 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.
5. 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.
6. Yifu, D., Hyun, W. R., Jack, F. D., Ronald, L. J., Daniel, R. H., Alamgir, K. and Christopher, L. S., "Polymer Viscoelasticity and Residual Stress Effects on Nanoimprint Lithography," Advanced Materials, Vol. 19, No. 10, pp. 1377-1382, 2007.
7. 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.