

비정질탄소 나노스탬프 및 유리임프린팅을 이용한 유리광학 필터 제작

Fabrication of Glass Optical Filter by Glass imprinting with Vitreous Carbon Nanostamp

*주종현, 한윤아, 석종원, #김석민

*J. Ju, Y. Han, J. Seok, #S. Kim(smkim@cau.ac.kr)

중앙대학교 기계공학부

Key words : Vitreous Carbon, Nano Structure, Glass Molding, Optical Filter

1. 서론

높은 온도 및 열악한 동작 환경에 노출되는 광학기에 마이크로/나노광소자의 적용이 요구됨에 따라 높은 열적, 화학적 안정성 및 다양한 광학적 장점을 지닌 유리 마이크로/나노 광학소자의 필요성이 증대되고 있다. 유리소재는 대표적인 난삭재로써 기계가공 시 구현치수한계 및 고비용의 문제가 있으며 reactive ion etching (RIE) 공정 또한 고비용과 더불어 낮은 치수 안정성과 환경오염의 문제가 있다. 이러한 문제를 극복하는 마이크로/나노 유리 광 소자의 제작기술로 유리 임프린팅 기술이 주목 받고 있다[1]. 기존의 폴리머 광학소자는 열간 임프린팅 혹은 UV 임프린팅 등의 복제공정을 통한 다양한 응용 연구가 활발히 수행되었으나, 유리재료의 임프린팅 공정은 높은 공정온도와 압력에 적합한 적절한 몰드 소재 및 가공방법의 부재로 인해 널리 사용되지 않았다. 유리 마이크로/나노임프린팅 공정을 수행하기 위해서는 소재의 유리 전이온도 이상의 고온과 높은 임프린팅 압력에서 지속적으로 사용 가능한 마이크로/나노 스탬프의 개발이 필수적이다. 비정질탄소는 이에 가장 적합한 재료로써 Takahashi 등은 focused ion beam (FIB) 공정으로 비정질탄소 나노구조를 제작하고 유리 임프린팅 공정을 통하여 quartz 및 Pyrex 소재의 나노구조를 성공적으로 제작한 바 있다[2]. 그러나 FIB 공정을 이용한 비정질탄소의 가공은 대면적화에 있어 공정비용이 크게 증가하는 단점이 있다. 본 연구에서는 유리 나노구조물의 대면적 저가 생산을 위하여 복제공정 및 탄화공정을 포함하는 비정질탄소 나노스탬프의 대면적 저가 제작공정과 이를 이용한 유리 나노구조물의 임프린팅 공정을

제안하였다. 제안된 공정의 유용성을 확인하기 위하여 제작된 비정질탄소 스탬프를 이용한 유리 임프린팅 공정을 수행하고 표면 프로파일의 정량적 분석을 수행하였으며, 유리 광학소자의 고온 안정성을 확인하기 위하여 유리 나노그레이팅에 TiO₂ 박막이 증착된 광결정 광학필터를 제작하고, 동작 온도에 따른 특성을 폴리머 필터와 비교 분석하였다.

2. 실험 및 결과

Fig. 1 은 제안된 공정을 이용하여 비정질탄소 나노스탬프와 유리 나노그레이팅을 제작하는 과정을 보여준다. 주기 454nm, 높이 101.7nm, duty 50%의 실리콘 마스터로부터 UV 임프린팅 공정을 통해 폴리머 몰드가 복제되었다. 복제된 폴리머 몰드에 퓨란수지 89.8wt%, p-Toluensulfonic acid(PTSA) 0.2wt%, ethanol 10wt% 혼합물을 도포하고, 최대공정온도 100℃의 경화공정을 거쳐 주기 457nm, 높이 100nm 의 나노그레이팅을 갖는 퓨란전구체를 제작하였다. 제작된 퓨란전구체의 탄화공정(최대공정온도 1000℃)을 통해 주기 356nm, 높이 75nm 의 비정질탄소 나노스탬프를 얻는다. 최종적으로, Sumita社의

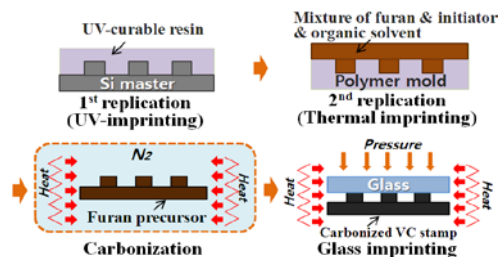


Fig. 1 Schematic flow of fabrication process for glass PC optical filter using VC mold.

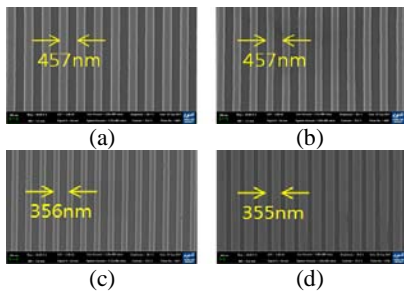


Fig. 2 SEM images of (a) polymer mold, (b) replicated furan precursors, (c) carbonized VC stamp and (d) imprinted glass nanogratings.

K-PG375 유리를 사용하여 공정온도 380℃, 공정압력 8MPa 에서 10 분간 유리 임프린팅 공정을 수행하여 주기 355nm, 높이 68nm 의 유리 나노그레이팅을 제작하였다. Fig. 2 는 시료의 각 제작단계별 SEM 이미지이며, 모든 공정단계에서 나노그레이팅이 고르게 형성 되었음을 보여준다. 복제공정 및 임프린팅 공정에서의 형상변화는 작지만, 탄화공정에서 큰 수축이 발생하였다. 각 공정별 패턴형상의 정량적인 평가를 위하여 AFM 측정을 통한 패턴 주기와 높이의 변화량을 분석하였다. Fig. 3 는 각각 (a) 실리콘 마스터, 폴리머 몰드, 퓨란 전구체와 (b) 비정질탄소 스탬프 및 유리 나노그레이팅의 표면 프로파일 비교 결과이다. 복제 및 임프린팅 공정에서의 수축률은 2% 미만이나, 탄화과정에서는 고분자의 열분해 및 가스방출에 의하여, 각각 주기방향 22.2%, 높이방향 25.7%의 큰 수축이 발생하였다. 반복적인 실험결과 이러한 형상변화는 패턴 형상에 영향을 받으나 동일한 패턴에 대하여 항상 같은 수축률을 가져 마스터의 설계단계에서 이를 보정할 수 있을 것을 판단된다. 제안된 공정의 유용성을 평가하기 위하여 유리 나노그레이팅에 TiO₂ 박박이 증착된 광결정 광학필터를 제작하여 고온에서의 광학스펙트럼을 동일형상의 폴리머 광학필터와 비교하였다. Fig. 4 는 (a) 유리 광학필터 및 (b) 폴리머 광학필터의 온도별 s 편광 스펙트럼을 보여준다. 유리 광학필터는 피크값이 300℃ 이상의 고온에서도 유지되지만 폴리머 광학필터는 210℃ 부근에서 피크가 사라짐을 알 수 있다.

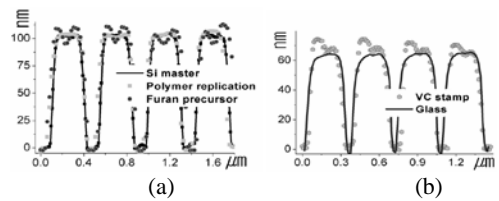


Fig. 3 Comparison of surface profiles obtained by AFM between (a) silicon master, polymer mold and furan precursor, and (b) VC stamp and imprinted glass nanograting.

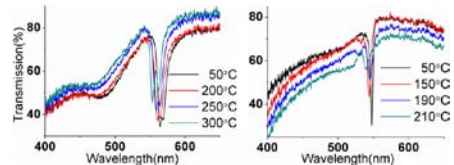


Fig. 4 Measured TM polarized light transmission spectra of (a) glass and (b) polymer optical filter at various temperatures.

3. 결론

본 연구에서는 제안된 비정질탄소 나노스탬프와 유리 임프린팅 공정을 이용하여 유리 나노구조물을 성공적으로 제작하였다. 제안된 공정을 통하여 제작된 유리 광결정 광학필터의 기능성과 고온 안정성을 확인함으로써 공정의 유용성을 확인하였다. 탄화단계의 비선형적 수축을 수치해석적 모델로 예측하고 마스터 설계에 반영하여 정확한 스탬프 디자인을 실현하는 것이 후속 연구과제이다.

후기

본 논문은 2011 년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업 지원을 받아 수행된 것임 (2011-0027327 및 2011-0004153)

참고문헌

1. Kang, S., "Replication Technology for Micro/Nano Optical Components," Jpn. J. Appl. Phys., **43**, 8B, 5706-5716, 2004.
2. Takahashi, M., Sugimoto, K. and Maeda, R. "Nanoimprint of Glass Materials with Glassy Carbon Molds Fabricated by Focused-Ion-Beam Etching," Jpn. J. Appl. Phys., **44**, 5600-5605, 2005.