

Water-soluble 폴리머와 DLC 코팅을 이용한 UV-NIL 스탬프 제작

*김기돈¹, 정준호¹, 알툰 알리¹, 이동일¹, 최대근¹, 박상후¹, 이응숙¹
¹ 한국기계연구원 지능형 정밀 기계연구부 나노 공정 장비연구센터

Fabrication of UV-NIL Stamp by Using Water-soluble Polymer and DLC Coating

*K. D. Kim¹, J. H. Jeong¹, A. Altun¹, D. I. Lee¹, D. G. Choi¹, S. H. Park¹, E. S. Lee¹
¹ Nano-Mechanical System Research Center, Korea Institute of Machinery and Materials

Key words : UV-NIL, Water-soluble Polymer, Stamp Replication, DLC(Diamond-like Carbon)

1. 서론

1996년 프린스턴 대학의 Chou 교수에 의해서 제안된 이래로 나노 임프린트 리소그래피(Nano imprint lithography, NIL) 기술은 경제적이고도 효과적으로 나노 구조물을 제작할 수 있는 기술로 실용적/기술적 측면에서 모두 높게 평가되고 있으며 특히, 2003년도에 발표된 ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)에서는 2010-2013년 22-32 nm DRAM Half-Pitch 패터닝을 위한 차세대 리소그래피 기술로 나노 임프린트 기술이 신규로 선정되었는데, 이는 나노 임프린트 기술의 성장 가능성을 학계 및 산업계에서 인정했음을 의미한다. 또한 2003년 MIT의 기술 보고서에 따르면 나노 임프린트 기술은 세계를 변화시킬 10개의 새로운 기술 중에 하나로 선정되어 미래 기술로서의 중요성을 더해주고 있다.

나노 임프린트(Nanoimprint Lithography, NIL) 공정 기술은 나노 스케일의 패턴을 경제적으로 대량 생산할 수 있는 장점을 가진 기술로 6 nm 크기의 나노 구조물도 임프린트가 가능하다는 결과들이 발표된 바가 있다(1). 일반적으로 이와 같은 나노 임프린트 공정은 크게 가열에 의한 방식(thermal-type NIL)과 광경화 방식(UV-NIL)으로 나누어진다. 나노 임프린트 공정에는 패턴을 형성하기 위하여 수지가 채워질 캐비티(cavity) 또는 전이 온도 이상으로 가열된 고분자를 변형 시키기 위한 각인된 스탬프가 필요하다. 100 nm 패턴 크기 이하의 나노 스케일의 스탬프를 제작하기 위해서 E-beam 을 이용한 리소그래피 공정을 많이 사용하고 있으나 E-beam 리소그래피의 경우 공정 단가가 매우 고가이며 생산성 또한 매우 낮다. 이와 같은 이유로 E-beam 을 이용하여 나노 스케일의 패턴이 형성된 스탬프를 다양한 방법으로 복제하여 사용하고 있다. 나노 스케일 스탬프의 복제 방법에는 나노 임프린트를 실리콘 기판 위에 수행한 후 식각 과정을 통하여 패턴을 실리콘으로 전사하는 방법과 PDMS 또는 PU(polyurethane)과 같은 고분자를 이용하여 복제하는 방법이 있다. 하지만, 위의 두 방법 모두 모 스탬프(mother stamp)와는 역상이며 특히, 식각 방법에 의한 패턴 전사로 얻어지는 실리콘 스탬프는 불투명하여 UV 를 사용한 임프린트 공정에는 응용할 수 없다. PDMS 등의 폴리머를 이용하여 복제한 스탬프를 모 스탬프와 동일한 스탬프로 제작 하기 위해서는 또 한번의 복제 과정을 거쳐야 하지만, PDMS 몰드로부터 다시 PDMS 스탬프를 복제하는 과정에서 PDMS 의 수축으로 인한 치수 오차는 문제점으로 남는다. 이러한 치수 오차를 감수하고 복제를 수행하더라도 PDMS 등의 폴리머의 경우 낮은 기계적 특성으로 인하여 스탬프의 내구성이 떨어지고 변형에 민감하게 된다.

본 논문에서는 물에 녹는 폴리머인 PVA(polyvinyl Alcohol)를 이용하여 스탬프를 복제한 후 DLC(Diamond-like Carbon)를 복제된 PVA 에 코팅하여 최종적으로 모 스탬프와 같은 상의 DLC 스탬프를 제작하였다.

물에 녹는 PVA 를 이용한 임프린트 방법은 2003년 C. Schaper (2)에 의하여 처음 제안되었으며 그 이후 단순한 패

턴 복제를 위한 목적으로 사용되었다. 본 논문에서 사용된 DLC 를 이용한 나노 임프린트용 스탬프 제작은 J. Jeong(3)에 의하여 처음 제안 되었으며 S. Park(4)은 TPP(Two Photon Polymerization)으로 제작된 3 차원 폴리머 패턴에 DLC 를 코팅하여 임프린트를 수행하였다. DLC 의 표면 에너지가 낮아 일반적으로 나노 임프린트 공정에서 스탬프 표면에 하는 화학적 처리 없이 임프린트를 수행하였다. A. Altun (5)는 DLC 의 표면 에너지를 낮추기 위하여 Fluorine 을 첨가한 F-DLC (Fluorine-doped DLC) 를 직접 식각 방법을 이용하여 40 nm 의 선풍을 갖는 스탬프를 제작하였다.

2. PVA 와 DLC 를 이용한 스탬프 복제

Fig. 1 은 PVA 와 DLC 코팅을 이용한 스탬프 복제의 과정을 나타낸다.

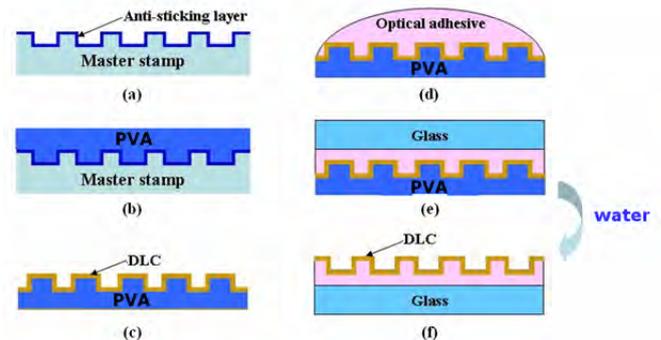


Fig. 1 Schematics for the replication of the master stamp by using DLC deposition and PVA molding ; the surface treatment of the original stamp (a), pouring PVA onto the original stamp (b), DLC deposition (c), pouring optical adhesive (d), put the glass on adhesive (e), dissolve PVA from adhesive (f).

복제하고자 하는 나노 스케일의 패턴을 갖는 스탬프에 점착방지막 처리를 한 후 액상의 PVA 를 붓고 액상의 PVA 에 있는 수분이 완전히 증발되어 제거 되도록 기다린 후 모 스탬프로부터 경화된 PVA 를 벗겨낸다. 벗겨낸 PVA 를 실리콘 웨이퍼와 같이 깨끗한 표면의 재질 위에 얹은 후 DLC 를 PECVD 방식으로 증착한다. DLC 가 증착된 PVA 에 back up 물질로 사용될 수 있도록 강도를 갖고 UV 를 투과할 수 있도록 투명한 유리나 같은 재질을 강력한 점착제로 붙인다. 이렇게 유리, DLC, PVA, Si 웨이퍼 순으로 있는 시편을 물에 넣어 PVA 가 녹아 Si 웨이퍼로부터 분리될 수 있도록 한다. 이렇게 분리가 되면 유리와 DLC 가 점착제로 붙은 UV 를 투과할 수 있는 나노 임프린트용 복제 스탬프가 제작된다.

본 논문에서 5wt%의 액상 PVA 를 사용하였으며 Fig. 2 와 같은 RF-PECVD 방법을 이용하여 30nm 두께의 DLC 를 코팅하였다. 사용된 주파수, 바이어스 전압, 증착 시간 및 사용된 precursor 는 각각 13.56 MHz, 400 V, 5 min, Methane(CH₄, 99.9999%) 이다.

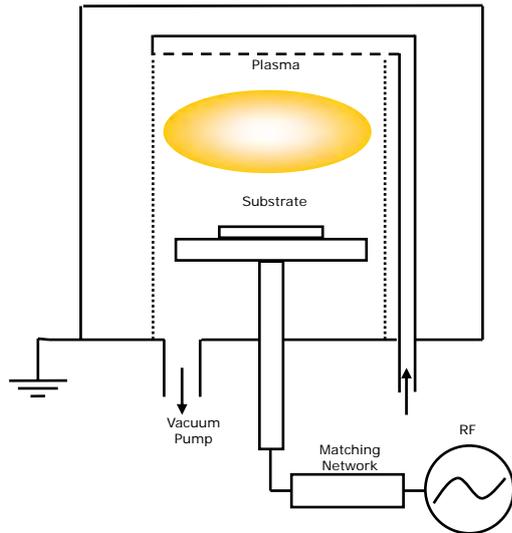


Fig. 2 Schematics for radio frequency plasma enhanced chemical vapor deposition (RF-PECVD) process.

제안된 방법을 이용하여 1 μm 부터 50 nm 선폭을 갖는 Si 스탬프를 복제하였다. Fig. 3은 1 μm^2 의 면적과 150 nm의 깊이를 갖는 패턴의 복제 결과를 보여주고 있다. Fig. 3의 (a)는 모 스탬프인 Si 스탬프의 AFM 이미지이며 (b)는 PVA 복제 몰드의 SEM 이미지 (c)는 복제된 DLC 스탬프의 SEM 이미지이다.

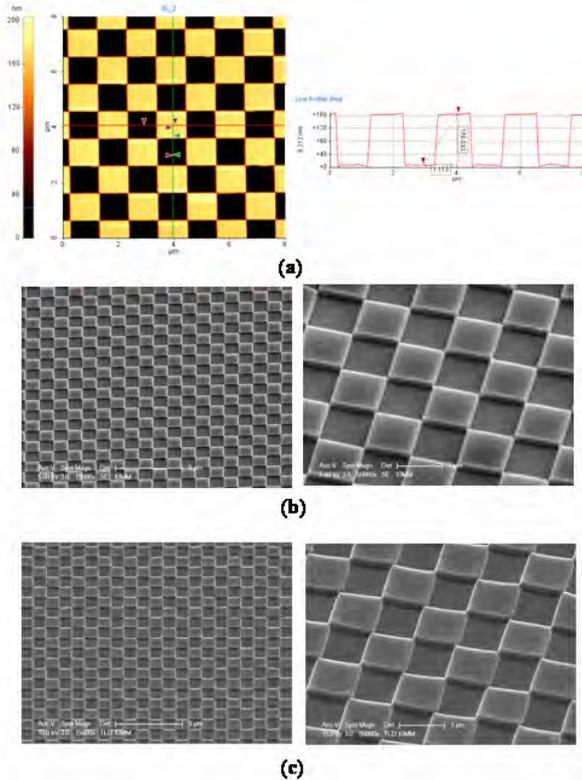


Fig. 3 Results of 1 μm scale patterns replication by using water-soluble polymer (PVA) and DLC coating. (a) AFM image of Si stamp (mother stamp), (b) FE-SEM images of PVA pattern (son stamp), and (c) FE-SEM images of DLC stamp (grandson stamp).

Fig. 3의 결과에서와 같이 PVA를 이용한 Si 스탬프의 1차 복제는 일반적인 임프린트 공정에서 나타나는 약 10% 내외의 폴리머 수축 이외는 거의 완벽하게 이루어졌다. 또한 한 PVA에 DLC를 코팅한 후 PVA를 물에 녹여 얻어진 Fig. 3의 (c)역시 Fig. 3의 (b)를 완벽히 복제하였다. Fig. 3의 (b)에서 정사각형 패턴의 꼭지점이 서로 만나는 부분에서 Si 스탬프를 E-beam으로 패터닝할 때 E-beam이 중첩되어 두꺼워진 부분까지 Fig. 3의 (c)에서 확인할 수 있다.

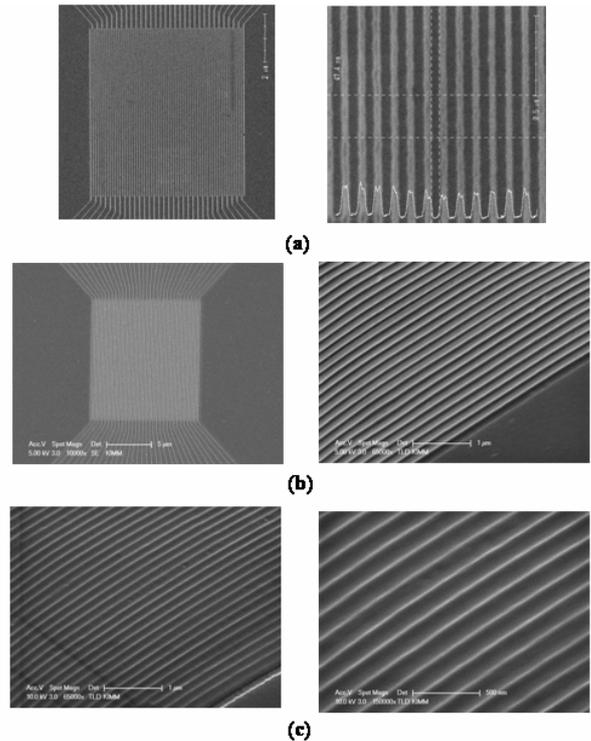


Fig. 4 Results of sub-50nm scale patterns replication by using water-soluble polymer (PVA) and DLC coating. (a) SEM image of Si stamp (mother stamp), (b) FE-SEM images of PVA pattern (son stamp), and (c) FE-SEM images of DLC stamp (grandson stamp).

Fig. 4는 sub-50nm의 선폭을 갖는 패턴을 제안된 방법을 이용하여 복제한 결과를 나타내고 있다. PVA로의 복제는 완벽한 것으로 판단되나 DLC 스탬프의 경우 패턴의 깊이가 줄어든 결과를 나타내었다.

3. 결론

UV 나노 임프린트용 스탬프 복제를 위하여 물에 녹는 폴리머인 PVA와 기계적 강도와 점착방지막 특성을 갖는 DLC 코팅을 이용하여 1 μm 부터 50nm 이하의 선폭을 갖는 스탬프를 Si 스탬프로부터 성공적으로 복제하였다. 제안된 방법은 고가의 스탬프를 쉽게 복제하여 UV 나노 임프린트 공정에 응용될 수 있다.

후기

본 연구는 21세기 프론티어 연구 개발 사업인 나노메카트로닉스 기술 개발 사업단의 연구비 지원(M102KN01001)에 의해 수행되었다.

참고문헌

1. Chou, S. Y., Krauss, P. R., and Renstrom, P. J., "Nanoimprint Lithography," J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 14, No. 6 pp.4129-4133, 1996.
2. Schaper, C. D., "Patterned Transfer of Metallic Thin Film Nanostructures by Water-Soluble Polymer Templates," Nano Letters, Vol. 3, No. 9 pp 1305-1309, 2003.
3. Lee, E. S., Jeong, J. H., K. D. Kim, etc., "Fabrication of Nano- and micro-scale UV Imprint Stamp Using DLC Coating Technology," Proceedings of Nano Korea 2005.
4. Park, S. H., Lim T. W., Yang, D. Y, etc., "Effective Fabrication of Three-dimensional Nano/Microstructures in a Single Step Using Multilayered Stamp," Appl. Phys. Lett., Vol. 88, 203105, 2006.
5. Altun A. O., Jeong J. H., etc., "Fabrication of Fluorine-doped DLC Stamps for UV-NIL," accepted in Nanotechnology, 2006.