

역 임프린트 공정을 이용한 양면 다층 나노 구조물 제작

*한강수, 홍성훈, 이 현
고려대학교 신소재공학과

Fabrication of sub-micron double patterned structure using reversal imprint

*Kang-Soo Han, Sung-Hoon Hong, Heon Lee
Dept. of material science and engineering, Korea Univ.

Key words : nanoimprint lithography(NIL), reversal imprint(RIL), poly vinyl alcohol(PVA)

1. 서론

Sub-micron 크기의 다층구조물 또는 3 차원 구조물은 여러 기능성 소자 제작에 유용하게 쓰일 수 있다. Micro-electronics 분야에서의 3 차원 구조 형성은 더 나은 속도와 집적밀도를 갖는 소자의 제작을 가능하게 하며, 3 차원 구조는 빛의 손실을 최소화 할 수 있으므로 3-D photonic band gap structure 제작에 기대가 크다. 또한 의약분야의 경우 체내 약물 운송, 감지, 선택적 반응 등에 획기적인 효율증가를 제공 할 수 있다. 이러한 구조물은 기존의 lithography, deposition, etching 등을 이용하여 제작 가능 하지만 공정 단가가 매우 비싸고 매우 복잡한 공정이 필요하다는 단점을 갖고 있어 실용화되기 어렵다.

반면 나노임프린트(Nanoimprint lithography [NIL]) 기술은 sub-micron, nano meter 단위의 구조물을 제작하는데 있어 빠르고 간단하며 값싼 공정을 장점으로 기존의 photolithography 기술을 대신할 만한 잠재력을 가진다. 하지만 NIL 은 표면에 직접 imprinting 을 하는 기술로써 3 차원 또는 다층 구조물 형성에 있어 한계점을 가질 수 밖에 없다. 반면 역 임프린트(reversal imprint lithography [RIL]) 기술은 이미 제작된 reversed layer 를 기판에 전사 시키는 방법으로 NIL 의 한계를 극복하여 3 차원 다층 구조의 형성에 적합하여 꾸준히 새로운 방법이 연구되고 있다.

본 연구에서는 수용성 stamp 와 quartz stamp, UV 광원을 이용한 RIL 의 방법으로 양면 다층 구조물을 제작하였으며, 이 방법을 Duo-mold UV-RIL 이라 이름 붙였다.

2. 실험 과정

다층 구조물을 제작하기 위한 Duo-mold UV-RIL 공정의 개략도를 Fig.1.에 나타내었다. 이 공정은 크게 reversed layer 를 제작하는 과정과 제작된 reversed layer 를 전사하는 과정으로 나뉜다.

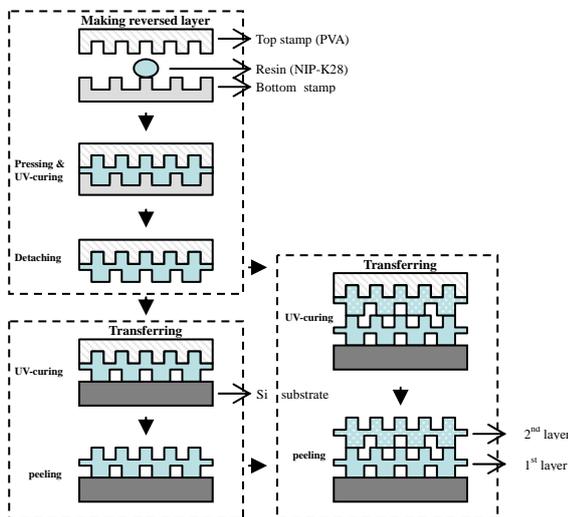


Fig.1. Duo-mold UV-RIL 의 개략도

Duo-mold UV-RIL process 에 사용 될 sacrificial stamp 는 Transfer Devices, Inc.의 sub-micron 크기의 패턴을 가지는 poly vinyl alcohol(PVA) stamp 를 사용하였으며, 이것은 duo-mold 의 top stamp 로 사용되었다. PVA pre-polymer solution 을 master stamp 위에 spin-casting 하는 방법으로 제작된 이 stamp 는 Fig.2.a), b)와 같이 깨끗한 선형 패턴을 갖는다.

PVA 를 사용한 이유는 다음과 같은 재료적 특성이 있기 때문이다. 첫째, PVA 는 광학적으로 UV~가시광선 영역에서 높은 빛 투과성을 갖는다. UV 영역에서는 50% 내외의 투과성을, 가시광선 영역에서는 약 80%정도의 투과성을 보이며 이는 UV 공정의 가능성과 광학적 alignment 의 가능성을 제시한다. 둘째, PVA 는 화학적으로 수용성 재료의 특성을 갖는다. 임프린트 과정의 stamp, 기판, 경화된 resin 등 대부분의 재료들이 물에 안정한 경우가 많다는 점을 이용하면 PVA stamp 의 선택적인 제거가 가능해진다. 또한 silicon 과 quartz stamp 에 비해 높은 표면 에너지로 인해 resin 과의 접촉력이 상대적으로 높아 reversed layer 제작 시 넓은 면적에서 high quality 의 transferred layer 를 기대할 수 있다. 마지막으로 flexible 한 기계적 특성을 갖고 있어 비평면 patterning, transferring 이 가능한 점을 들 수 있다.

본 연구에서 사용된 duo-mold 의 bottom stamp 로는 각각 4mm x 4mm 크기의 16 가지 다른 종류의 패턴이 표면 위에 바둑판 모양으로 배열 되어있는 2cm x 2cm 의 면적의 quartz stamp 로서, 각 패턴의 크기는 Fig.2.와 같이 200nm~2um 로 다양하며 깊이는 300nm 이다. 이러한 패턴의 영향으로 표면적이 증가하고 이에 따라 표면 전체의 접촉 에너지는 크게 증가하게 된다. 표면 에너지의 증가는 resin 과 stamp 의 강한 접촉을 유발하고 이것은 곧 패턴링 yield 의 감소로 이어진다. 따라서 bottom stamp 는 acetone 과 isopropanol 로 세척 후 oxygen plasma 공정으로 표면을 활성화시킨 뒤 trichlorosilane 계열의 자기 조립 단분자막을 표면 위에 형성시켜 물과의 접촉각이 120° 이상이 되도록 표면 에너지를 크게 낮추어서 사용하였다.

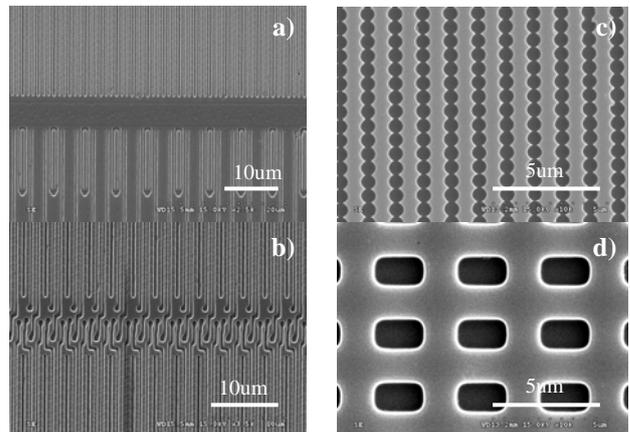


Fig.2. SEM images

a),b) PVA stamp, c),d) Quartz stamp

Duo-mold 사이에서 실제 구조를 이룰 광 경화 resin 으로써 Chemoptics 사의 NIP-K28 을 사용하였으며 이것은 bottom stamp 윗면에 기포가 발생하지 않도록 도포한 후 top stamp 로 덮어 임프린트 장비에 로딩하였다. 이때 NND 사의 Nanosis 610 imprinting system 을 이용하였으며 이것은 pressure chamber type 의 imprinting system 이다. 액상의 resin 사용 시 발생할 수 있는 기포의 발생을 제거하기 위해 sample 이 들어 있는 내부 기기를 진공 상태로 만들어 주었으며 전 면적위로 균일한 가압을 위해 isotropic pressure 를 이용하였다. 이때 resin 의 균일한 분산을 위해 30 bar 의 가압상태에서 10 분 동안 대기하였다. Resin 의 분산과정을 거친 뒤 UV-light 를 노광해 주어 resin 을 경화 시켰다.

Resin 의 경화과정 후 bottom stamp 로 부터 top stamp 를 박리 시켜 reversed layer 를 얻을 수 있었으며, 이때 PVA top stamp 의 높은 표면 에너지로 인해 경화된 resin 은 모두 PVA top stamp 로 쉽게 전사되며, quartz bottom stamp 의 낮은 표면 에너지는 이 과정에서의 경화된 resin 의 표면 손상을 방지한다.

만들어진 reversed layer 를 기판에 전사하기 위해서는 bond layer 가 필요하며, 본 실험에서는 잔여물질을 최소화 하고 spin-coating 이 용이하도록 UV-initiator 와 ethylene glycol dimethacrylate 혼합물을 ethanol 용매에 녹여 UV-bond 를 제작하였다. 이것은 PVC, PC 등의 polymer 계열의 기판에는 쉽게 spin-coating 이 가능했지만 이번 실험에 사용된 bare silicon wafer 에는 spin-coating 이 불가능하여 silicon wafer 를 표면처리 후 사용하였다. 표면처리의 방법으로는 silicon wafer 를 acetone 과 isopropanol 로 세척 후 oxygen plasma 공정으로 표면을 활성화시킨 뒤 methacryloxy-propyltrichlorosilane 자기 조립 단분자막을 coating 함으로써 이루어 졌으며, 이와 같은 표면처리로 인해 UV-bond 의 spin coating 이 용이하게 되었다.

Reversed layer 를 표면처리와 UV-bond spin-coating 된 기판에 덮은 후, UV light 를 노광하여 bonding 하였으며 이 과정이 끝난 후 top stamp 를 제거하기 위하여 물에 2~3 시간 담궈 놓았다. 물에 담궈진 시편의 구성 재료는 경화된 resin, 기판, PVA top stamp 이며, 이들 중 PVA top stamp 만이 물에 반응하여 깨끗이 제거 되었다.

다층 구조의 결과물을 얻기 위하여 reversed layer 를 제작 후, 이미 만들어진 단층 구조물 위에 전사하였다. 그 결과로서 Fig.3.c), d)와 같은 구조물을 제작 할 수 있었으며, 또한 이러한 과정의 반복으로 3 층, 4 층 이상의 다층 구조물을 제작 할 수 있을 것이다.

3. 결과 및 토의

본 연구에서는 수용성 PVA stamp 를 사용하여 양면 패터닝된 3 차원 나노 구조물을 다양한 종류의 기판에 구성 할 수 있었다. 그림 Fig.3.a)는 하단부 16 pattern quartz stamp 의 물결모양을 갖는 line 패턴에 의한 공동이 생성된 것을 보이며 상단부의 pattern 은 PVA stamp 에 의한 IC 패턴이다. PVA stamp 를 물에 녹여 선택적으로 제거하였기 때문에 hard stamp 의 de-molding 과정에서 발생할 수 있는 패턴의 일그러짐 이 없으며 패턴에 물리적 손상을 주지 않기 때문에 높은 fidelity 를 보인다. 또한 Fig.3.b)의 경우는 reversed layer 제작 과정 중 압력의 조절로 무잔류층에 근접한 구조물 제작이 가능한 것을 보이며, 이것은 reactive ion etching (RIE) 과정을 거쳐 지붕모양의 3-D 구조를 만들 수 있는 가능성을 보인다. Fig.3.c),d)의 경우 duo-mold UV-RIL 의 방법을 두 번 사용하여 다층의 구조물을 제작한 것이며, 양면 패터닝된 구조물 두 개가 적층 구조를 이루고 있는 것

을 확인할 수 있다.

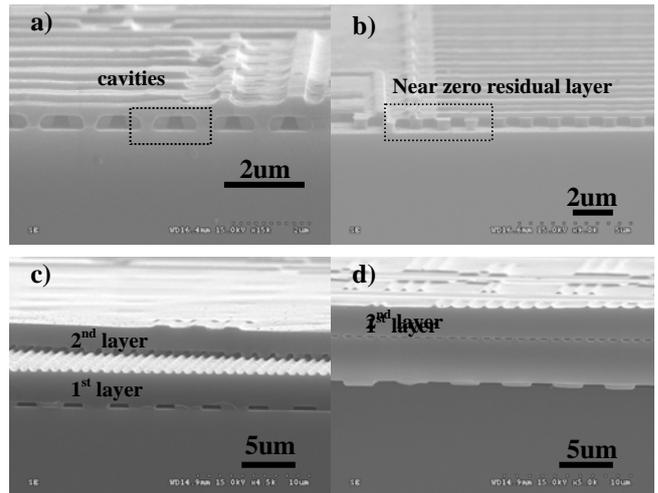


Fig.3. SEM images

- a) 패터닝된 resin 에 의한 공동의 형성
- b) 무잔류층에 근접한 구조물 형성
- c), d) 양면 패터닝된 다층 구조물의 형성

4. 결론

본 연구에서는 PVA 의 재료적 특성인 수용성, 높은 표면 에너지, 투명성 등을 활용하여 새로운 공정을 개발하였으며 이로 인해 UV 공정이 가능해지고 넓은 면적에 걸쳐 높은 fidelity 를 갖는 sub-micron 급의 양면 패터닝 결과를 얻을 수 있었다. 이 공정은 양면에 동시에 패터닝이 가능할 뿐만 아니라 PVA 의 투명한 성질을 이용하여 alignment 의 가능성을 가지므로 3-D multi functional device 제작에 커다란 잠재력을 갖는다고 말할 수 있다.

후기

본 연구는 산업자원부의 광주지역 첨단부품·소재 인프라 구축사업의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

1. G. Kiriakidis and N. Katsarakis, Mater. Phys. Mech. 1, 20 (2000)
2. Y. P. Kong, H. Y. Low, S. W. Pang, A. F. Yee, J. Vac. Sci. Technol. B 22 (2004) 3251
3. Masaki Nakajima, Takashi Yoshikawa, Kenji Sogo, Yoshihiko Hirai, Microelectronic Engineering, Volume 83, Issues 4-9, April-September 2006, Pages 876-879
4. X. D. Huang, L.-R. Bao, X. Cheng, L. J. Guo, S.W. Pang, A. F. Yee, J. Vac. Sci. Technol. B 20 (2002) 2872
5. R. W. Jaszewski, H. Schit, B. Schnyder, A. Schneuwly, P. Groning, Appl. Sur. Sci. 143 (1999) 301
6. S. Park, C. Padeste, H. Schiff, J. Gobrecht, Microelectron. Eng. 67 (2003) 252
7. K. M. Abd El-Kader, A. S. Orabi, Polymer Testing 21 (2002) 591
8. Gun-Young Jung, Zhiyoing Li, Wei Wu, S. Ganapathiappan, Xuema Li, Derrdre L. Olynick, S.Y. Wang, William M. Tong, R. Stanley Williams, Langmuir 21 (2005) 6127
9. Charles D. Schaper, Nano Lett. Vol. 3 No. 9 (2003) 1305