

UV 나노임프린트 리소그래피용 UV 투과성 나노스탬프 제작

정준호, 심영석, 손현기, 신영재, 이응숙 (지능형 정밀기계연구부, 한국기계연구원),
허익범, 권성원 (듀폰 포토마스크[주])

UV transparent stamp fabrication for UV nanoimprint lithography

Jun-ho Jeong^{*}, Young-suk Sim^{*}, Hyonkee Sohn^{*}, Young-jae Shin^{*}, and Eung-suk Lee[†]
Ik-Boum Hur[‡], Sung-Won Kwon[‡]

Key Words : UV-nanoimprint(UV-나노임프린트), nanostamp(나노스탬프), nanofabrication(나노제작), quartz stamp(수정 스탬프)

Abstract

Ultraviolet-nanoimprint lithography (UV-NIL) is a promising nanoimprint method for cost-effectively defining nanometer scale structures at room temperature and low pressure. Nanostamp fabrication technology is a key technology for UV-NIL because fabricating a high resolution nanostamp is the first step for defining high resolution nanostructures in a substrate. We used quartz as an UV transparent stamp material for the UV-NIL. A 5×5×0.09 inch stamp was fabricated using the quartz etch process in which Cr film was used as a hard mask for transferring nanostructures into the quartz. In this paper, we describe the quartz etching process and discuss the results including SEM images.

1. 서 론

1996 년 Chou 교수[1]가 개발한 가열방식의 NIL 은 선폭 100 nm 이하의 나노구조물을 경제적으로 제작할 수 있는 대표적인 나노패터닝(nano-patterning)공정으로 많은 기대가 모아지고 있으나 몇 가지 문제점 또한 갖고 있다. 다층작업 시 열변형에 의해 다층 정렬이 어렵다는 점과, 점도가 큰 레지스트를 임프린트하기 위해서는 고압(30 bar 정도)이 필요하기 때문에, 이미 제작된 구조물의 파손을 일으킬 소지가 있고, 불투명한 스탬프 또한, 다층화 정렬작업에 불리하게 작용하고 있다. 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 방법으로는 상

온저압프린팅공정기술인 UV 나노임프린트 리소그래피(UV nanoimprint lithography, UV-NIL)를 들 수 있다.

UV 경화형식의 나노임프린트는 1996 년 Philips 연구팀인 Haisma 등[2]에 의해 발표된 바가 있으나 반도체공정에 적용하기 위한 체계적인 연구는 Sreenivasan 교수팀[3]에 의해 이루어 졌다고 할 수 있다. 이 공정기술은 Ultraviolet (UV) 경화소재를 사용하여 상온 저압으로 나노구조물을 제작할 수 있는 기법으로, 자외선이 투과할 수 있는 재질의 스탬프를 사용한다는 점이 특징이다.

UV-NIL 의 기본 원리는 Fig.1 에서 나타난 바와 같이 기판(substrate) 위에 코팅된 UV 경화소재를 UV 투과성 스탬프로 누른 상태에서 UV 를 조사하여 경화시킨 후, 이방성 에칭과정과 lift-off 과정을 거쳐 나노패턴을 기판 위에 전사하는 방식이다. 1999 년에 Sreenivasan 교수가 제안한 Step & Flash Imprint Lithography (SFIL) 공정에서는 전달층(transfer layer)을 추가로 사용한다는 점과 UV 경화수지를 충전시키는데 있어 표면장력을 사용한다는

[†] 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부
E-mail : les648@kimm.re.kr
TEL : (042)868-7140 FAX : (042)868-7721

^{*} 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

[‡] 듀폰포토마스크(주) 기술부

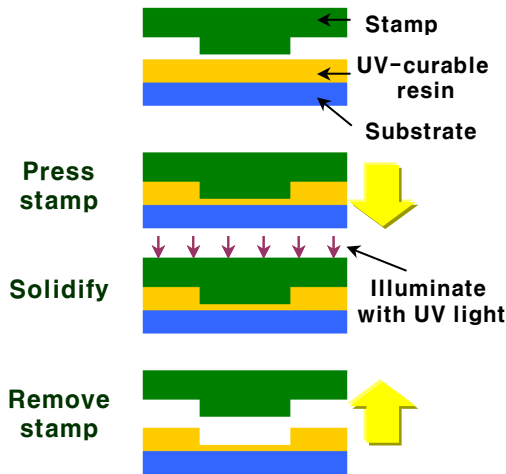


Fig. 1 Schematic of UV-nanoimprint lithography.

점이 특징이며 현재는 전달층과 스탬프 사이에 UV 경화수지 액적을 떨어뜨린 후 스탬프로 가압하는 방식으로 연구가 진행되고 있다. SFIL 의 또 다른 특징은 step & repeat 방식으로 전체 웨이퍼는 한번에 임프린트하는 것이 아니라 소 단위 크기의 스탬프로 여러 번 반복하여 임프린트하는 방식을 채택하고 있다는 점이다. 이외에도 2000 년도부터 유럽[4]과 일본[5]에서 UV-NIL 관련 연구를 활발하게 수행하고 있다.

앞에서도 언급한 바와 같이 가열방식 NIL 에서는 일반적으로 실리콘 스탬프가 사용되는데 반하여, UV-NIL 에서는 UV 투과성 재질인 수정(quartz), 유리(glass)등으로 제작된 스탬프가 사용된다. 나노 스탬프의 형상정밀도는 기관에 각인된 최종 구조물의 정밀도에 직접적으로 연계되어 있기 때문에 나노스탬프 제작기술은 UV-NIL 의 핵심 요소 기술이라 말할 수 있다. 본 연구에서는 크롬층을 하드마스크(hard mask)로 사용한 에칭방

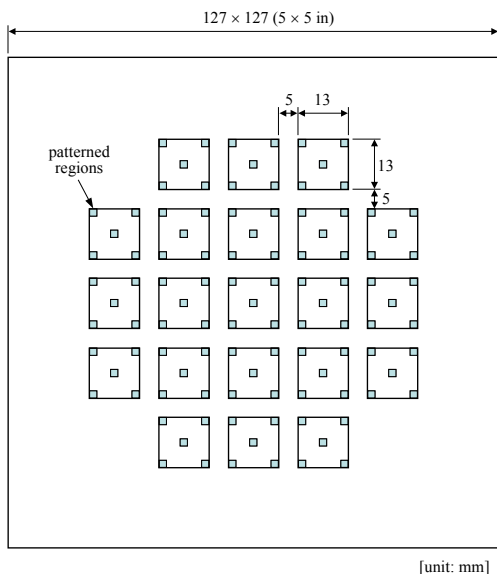


Fig. 2 Stamp geometry.



Fig. 3 The designed pattern with 100~1,000 nm line widths.

법으로 UV-NIL 을 위한 5 × 5 × 0.09 인치 나노스탬프를 제작하였다. 본 논문에서는 나노스탬프 제작과정에 대해 설명하고, 제작된 나노스탬프의 측정 결과를 중심으로 Cr 층을 사용한 나노스탬프 제작기술에 대해 토론한다.

2. 제작과정 및 결과

4 인치 웨이퍼에 대한 나노임프린트를 수행하기 위해 5 × 5 × 0.09 인치 나노스탬프를 제작했으며, UV 가 투과하는 포토마스크용 quartz 기판을 사용했다. Fig.2 는 스탬프의 기본 설계치수를 보여 주고 있다. 가운데 21 개의 사각형 형상은 나노임프린트로 제작될 제품을 가상적으로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 4 인치 웨이퍼 위에 21 개의 13 × 13 mm 제품에 대한 one step 방식 임프린트 실험을 하기 위해 스탬프를 제작하였으며, 각각의 제품영역에 대해 전부 나노구조물을 제작하지 않고 4 개의 모서리와 가운데에 위치한 500 × 500 μm 영역에만 나노구조물을 설계 제작하였다. CADENCE S/W 에 의해 설계된 패턴을 구성하는 선의 폭은 100 nm ~ 1 μm 이며, 깊이는 200 nm 이다. [Fig. 3]

Fig.4 는 Cr 층을 하드마스크로 사용한 에칭방법에 의해 스탬프를 제작하는 과정을 보여주고 있다. E-beam 레지스트와 Cr 이 도포된 마스크를 e-beam 을 사용해서 패턴을 전사한다. 이어 e-beam 레지스트를 현상(develop)하고 Cr 층을 에칭한 후 잔여 레지스트를 제거하게 된다. 이 단계까지는 기존의 포토마스크 제조방법과 동일하며 quartz 에 나노구조물을 전사하기 위해서는 Cr 을

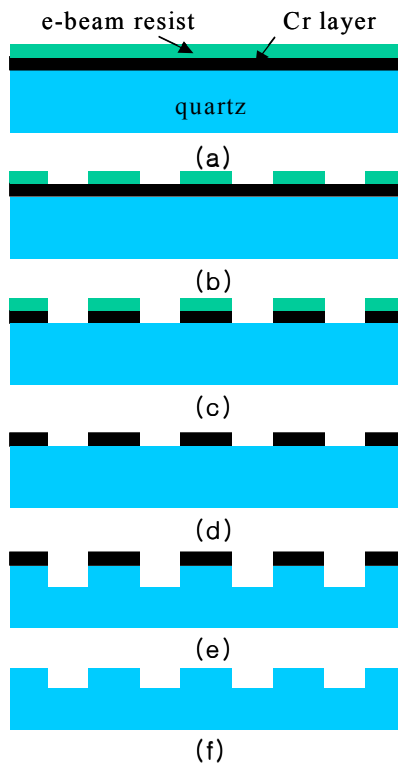


Fig. 4 Schematic of nanostamp fabrication procedure
(a) quartz plate with resist and Cr Layer (b) form pattern on resist by E-beam lithography (c) strip resist (d) etch Cr layer (e) etch quartz plate (f) strip Cr layer.

하드마스크로 사용한 에칭작업과 최종적인 Cr 제거작업이 추가된다.

본 스템프 제작에 사용된 quartz 기판은 일본 HOYA 사의 EHQ 5009 2C ZEP7000 으로 도포된 Cr 과 레지스트의 두께는 각각 100 nm 와 400 nm 이다. [Fig.4(a)]. 초기의 패턴 형성을 위한 e-beam 리소그래피를 위해 HITACHI HL800M 50 KeV vector scan e-beam 장비를 사용하였고, Dose 양은 $25 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 로 고정하였다. [Fig.4(b)] 패턴을 형성한 후에 FAIRCHILD spin spray 를 이용하여 레지스트를 develop 하고, 패턴에 남아있는 잔여 레지스트 제거와, Cr 에칭에 의한 패턴 형성을 위해 UNAXIS VLR-700 ICP 를 사용하였다. 잔여 레지스트 제거 시 사용된 gas 는 O_2 이며 전체 유량은 30 sccm, 작업 진공도는 10 mTorr 를 유지하였다. Cr 에칭시에는 $\text{Cl}/\text{O}_2/\text{He}$ gas 를 혼합하여 사용하였으며, 전체 유량은 62 sccm 이고, 작업 진공도는 6 mTorr 를 유지하였다.[Fig.4(c)] Cr 패턴을 형성한 후에 SUCCEED wet bench 를 사용하여 레지스트를 strip 하고,[Fig.4(d)] quartz 에칭을 위하여 UNAXIS VLR-700 ICP 를 사용했으며, 200nm 깊이를 갖는 quartz 패턴을 형성하였다. 패턴 형성시 공

정조건은 $\text{SF}_6/\text{O}_2/\text{He}$ Gas 를 혼합하여 사용하였고, 전체유량은 50 sccm, 작업진공도는 5 mTorr 로 진행하였다.[Fig.4(e)] 최종적으로 Cr 을 제거하고,

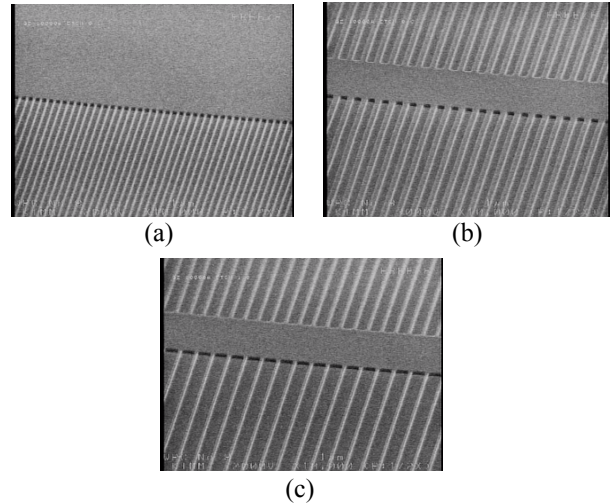


Fig. 5 The SEM images of grooves with the designed widths: (a) 100 nm, (b) 600 nm, and (c) 1 μm .

WACOM wet bench 로 세정하여 스템프를 최종적으로 제작하였다. [Fig.4(f)]

2002 년 관련 연구분야의 선두그룹인 미국의 Motorola lab 와 텍사스 주립대학에서는 CD 손실을 최소화하기 위해 Cr 층을 10 nm 두께로 코팅하여 사용했으며 20 nm 선폭을 구현한 바가 있다. [6]

본 연구에서는 100 nm 로 코팅이 된 포토마스 용 quartz 를 사용한 결과, 최소 선폭이 설계 치수인 100 nm 를 훨씬 상회하는 377 nm 로 제작된 것이 측정되었다. [Fig. 5(a), Fig. 6(a)] 이러한 현상은 패턴의 크기가 작아지면서 나타난 것으로, 초기에 e-beam 리소그래피 과정을 거쳐 얻은 선폭은 100 nm 였으나, 레지스트를 현상하거나, Cr 을 에칭하는 과정에서 패턴이 형성된 주변의 레지스트나 Cr 층들이 과도하게 에칭되어 CD 오차가 발생하는 것이다. 그러나, 600 nm 선폭 이상에 대해서는 2% 이하의 CD 오차를 나타냄으로써 비교적 양호한 치수 정밀도를 보이고 있다. [Figs. 5 and 6] Groove 간의 최소간격을 100 nm 로 설계한 부분을 측정할 결과 Fig. 7 에서와 같이 10%내외의 CD 오차를 나타내었다. 이는 100 nm 선폭 groove 제작에 비하여 groove 사이에 있는 양각 형상의 간격 제작이 보다 용이했음을 보이는 예라고 할 수 있다.

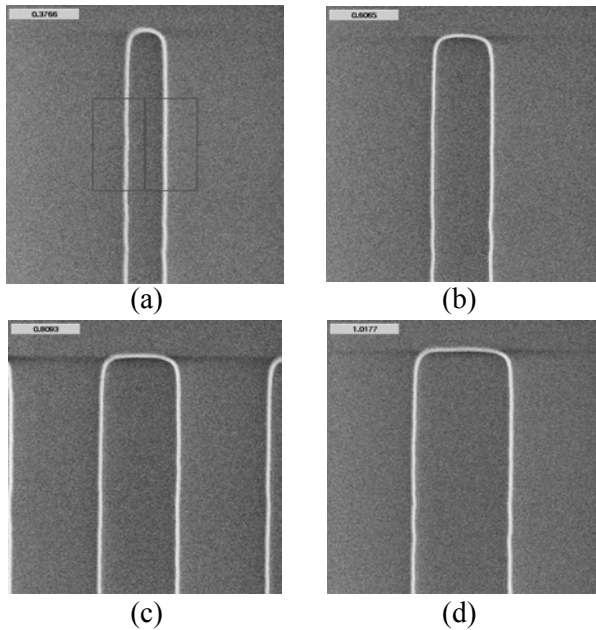


Figure 6 CD measurement results for grooves with the designed widths: (a) 100 nm, (b) 600 nm, (c) 800 nm, and (d) 1 μ m.

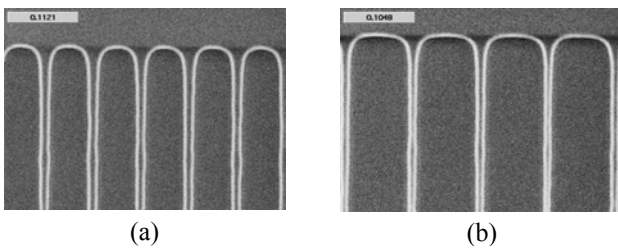


Figure 7 Dimension measurement results of groove intervals.

3. 결론

본 연구에서는 UV 나노임프린트용 스탬프를 제작하기 위하여 UV 투과성 재질의 quartz 를 사용하였다. 제작된 최소 선폭은 설계 치수인 100 nm 를 3 배이상 초과하는 377 nm 로 측정되었으며 이는 레지스트 현상과정 및 과도한 두께(=100 nm)의 Cr 층에 대한 에칭과정에서 발생하는 CD 오차의 결과라 판단된다. 이러한 현상 및 에칭 공정조건 최적화를 거친다면 현재 국내에서도 100 ~ 200 nm 선폭의 quartz 스탬프 제작이 가능하리라 사료된다. 본 연구팀은 제작한 스탬프를 사용하여 UV 나노임프린트 실험을 계획하고 있으며 100 nm 선폭을 갖는 quartz 소재의 나노 스탬프 제작에 관한 연구도 지속적으로 수행할 계획이다.

후 기

본 연구는 21 세기 프론티어연구개발사업인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 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(6), pp. 4129-4133, 1996.
- (2) Haisma, J., Verheijen, M., and Heuvel, K., "Mold-assisted nanolithography: A process for reliable pattern replication", *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 14(6), pp. 4124-4128, 1996.
- (3) Sreenivasan, S.V., "Nanoimprint lithography using UV curable liquids", in *ASME International Conference on Integrated Nanosystems*, Berkeley, CA, September 18-20, 2002.
- (4) Bender, M., Otto, M., Hadam, B., Spangenberg, B., and Kurz H., "Multiple imprinting in UV-based nanoimprint lithography related material issues", *Microelectronics Eng.*, Vol. 61-62, pp. 407-413, 2002.
- (5) Taniguchi, J., Kawasaki, T., Tokano, Y., Kogo, Y., Miyamoto, I., Komuro, M., Hiroshima, H., Sakai, N., and Tada, K., "Measurement of adhesive force between mold and photocurable resin in imprint technology", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 41, pp 4194-4197, 2002.
- (6) Bailey, T.C., Resnick, D.J., Mancini, D., Nordquist, K.J., Dauksher, W.J., Ainley, E., Talin, A., Gehoski, K., Baker, J.H., Choi, B.J., Johnson, S., Colburn, M., Meissl, M., Sreenivasan, S.V., Ekerdt, J.G., and Willson, C.G., "Template fabrication schemes for step and flash imprint lithography", *Microelectronics Eng.*, Vol. 61-62, pp. 461-467, 2002.