

4" Si 웨이퍼에 대한 single-step UV 나노임프린트 리소그래피

정준호*, 손현기, 심영석, 신영재, 이용숙 (한국기계연구원 지능형정밀기계연구부), 최성욱, 김재호 (아주대 분자과학기술학과)

Single-step UV nanoimprint lithography on a 4" Si wafer

Jun-Ho Jeong, Hyonkee Sohn, Young-Suk Sim, Young-Jae Shin, and Eung-Sug Lee (Dept. of Intelligent Precision Machine, KIMM), Sung-Wook, Choi, and Jae-Ho Kim (Dept. of Molecular Science and Technology, Ajou Univ.)

ABSTRACT

Ultraviolet-nanoimprint lithography (UV-NIL) is a promising method for cost-effectively defining nanoscale structures at room temperature and low pressure. Since the resolution of nanostructures depends strongly upon that of nanostamps, the nanostamp fabrication technology is a key technology to UV-NIL. In this paper, a $5 \times 5 \times 0.09$ in. quartz stamp whose critical dimension is 377 nm was fabricated using the etch process in which a Cr film was employed as a hard mask for transferring nanostructures onto the quartz plate. To effectively apply the fabricated 5-in. stamp to UV-NIL on a 4-in. Si wafer, we have proposed a new UV-NIL process using a multi-dispensing method as a way to supply resist on a wafer. Experiments have shown that the multi-dispensing method can enable UV-NIL using a large-area stamp.

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

1. 서론

UV-NIL (UV-nanoimprint lithography)은 1996 년 Philips 연구팀인 Haisma 등[1]에 의해 발표된 바가 있으나 반도체공정에 적용하기 위한 체계적인 연구는 Sreenivasan 등[2-3]에 의해 이루어 졌다고 할 수 있다. 이 공정기술은 UV 경화소재를 사용하여 상온저압으로 나노 구조물을 제작할 수 있는 기법으로, 가열방식 NIL 에서는 일반적으로 실리콘 스탬프가 사용 되는데 반하여, UV 투과성 재질인 수정(quartz), 유리(glass) 등으로 제작된 스탬프가 사용된다는 점이 특징이다.

UV-NIL 은 기판(substrate) 위에 코팅된 UV 경화소재를 UV 투과성 스탬프로 가압한 상태에서 UV 를 조사하여 경화시킨 후, 이방

성 에칭과정과 lift-off 과정을 거쳐 나노패턴 을 기판 위에 전사하는 방식이다. 1999 년에 Sreenivasan 등[2-3]이 제안한 Step & Flash Imprint Lithography (SFIL) 공정에서는 전달층(transfer layer)을 추가로 사용한다는 점과 UV 경화 레지스트를 충전시키는데 있어 표면장력을 이용한다는 점이 특징이며, 현재 는 전달층과 스탬프 사이에 UV 경화 레지스 트 액적을 떨어뜨린 후 스탬프로 가압하는 방 식으로 연구가 진행되고 있다. SFIL 의 또 다 른 특징은 step & repeat 방식으로 전체 웨이 퍼를 한번에 임프린트하는 것이 아니라 소 단 위 크기의 스탬프로 여러 번 반복하여 임프린 트하는 방식을 채택하고 있다는 것이다. 이외 에도 2000 년도부터 일본[4]과 유럽[5]에서 UV-NIL 관련 연구가 활발하게 진행되고 있

다.

본 연구에서는 dispensing 방식 UV-NIL에서 대면적 스탬프를 효과적으로 사용하기 위하여 multi-dispensing 방법에 의한 UV-NIL을 제안하고 관련 실험을 수행하였다. 기존의 소단위 스탬프에서 사용되는 dispensing 방식을 대면적 스탬프에 동일하게 적용할 경우, 레지스트가 충전해야 할 박막영역이 넓어짐으로 따라 공정시간이 대폭 증가된다. 본 연구에서는 웨이퍼의 모든 단위영역에 대해 각각 레지스트 액적을 dispensing을 한 후 스탬프를 사용하여 single-step으로 가압하기 때문에, 레지스트의 흐름영역은 해당 단위영역으로 국한되어 레지스트의 충전시간이 단위영역 크기의 스탬프를 사용했을 경우와 동일하게 된다. 이 기법에서는 단위영역과 단위영역 사이에 레지스트가 없는 영역이 존재하게 되는데, 최종적으로 이 부분은 dicing 등으로 제거되고 단위영역만 제품으로 사용된다. 본 논문에서 실험 결과를 토대로 제안한 기법의 타당성을 검증한다.

2. 본론

본 연구에서는 SUSS Microtech사의 aligner인 MA6를 사용하여 UV-NIL 실험을 수행하였으며 UV 경화 레지스트는 일본의 Tejin Seiki사에서 개발한 TSR-820 (viscosity = 225 cps)을 사용했다. UV 노출 후 경화된 레지스트와의 분리를 용이하게 하기 위하여 제작된 5 in. quartz 스탬프에는 점착 방지막(anti-adhesion layer) 처리를 하였다. 점착 방지막 처리를 위하여 사용한 시약과 용매는 Trichloro(1H, 1H, 2H, 2H-perfluorooxy)lsilane, ethanol, acetone, toluene, H₂SO₄, H₂O₂ 이며, 처리 전의 bare quartz에 대한 접촉각은 27°였으나 처리 후에 105°로 증가되었음을 확인할 수 있었다.

UV-NIL은 웨이퍼 위에 UV 경화성 레지스트를 공급하는 방식에 따라 spin-coating 방식과 dispensing 방식으로 나눌 수가 있다. Spin-coating 방식의 UV-NIL에서는 spin-coater를 사용해서 웨이퍼 위에 레지스트 박막을 코팅하고 스탬프로 가압하여 임프린트하고[1], dispensing 방식의 UV-NIL에서는 dispenser로 일정량의 레지스트 액적을 웨이퍼 표면에 공급한 후 스탬프를 가압하여 임프린트한다. [2-3] Spin-coating 방식에 의한 UV-NIL을 시도한 Hiroshima 등[4]은 진공환경에서 5 × 5 mm 스탬프를 사용했으며, Otto 등은 step & repeat

방법에 10 × 10 mm 스탬프를 사용하여 대기압상태에서 임프린트를 수행한 바가 있다. [5] 이와 같이 spin-coating 방식은 진공환경을 사용하거나 10 × 10 mm 정도의 작은 스탬프를 사용하고 있는데 이는 대면적 스탬프를 사용할 시 공기포집이 문제가 되기 때문이다. 본 연구에서도 4 in. 웨이퍼에 TSR-820을 spin-coating한 후 5 in. 스탬프를 사용하여 4 in. 웨이퍼에 UV-NIL을 수행한 결과 상당히 많은 부분에 공기가 포집되어 있는 것을 발견할 수 있었다. Dispensing 방식은 MII사에서 개발한 장비에서 채택하고 있는 방식[1-2]으로 1 × 1 in. 스탬프를 사용하고 있으며 대기압 환경에서 작업이 가능하다. 그러나 각각의 단위영역에 대해 dispensing과 임프린트에 1-2분 정도가 소요되고 4 in. 웨이퍼 기준 7번의 반복작업이 필요하기 때문에 각 4 in. 웨이퍼에 대해 10여분의 작업시간이 요구된다.

본 연구에서는 대기압 환경에서 대면적 스탬프를 효과적으로 사용하기 위한 multi-dispensing 방법에 의한 UV-NIL을 제안한다. 이 방법에서는 웨이퍼 상의 모든 단위영역에 대해 각각 일정량의 액을 dispensing하고 대면적 스탬프를 사용해서 single-step UV-NIL을 수행하게 된다.

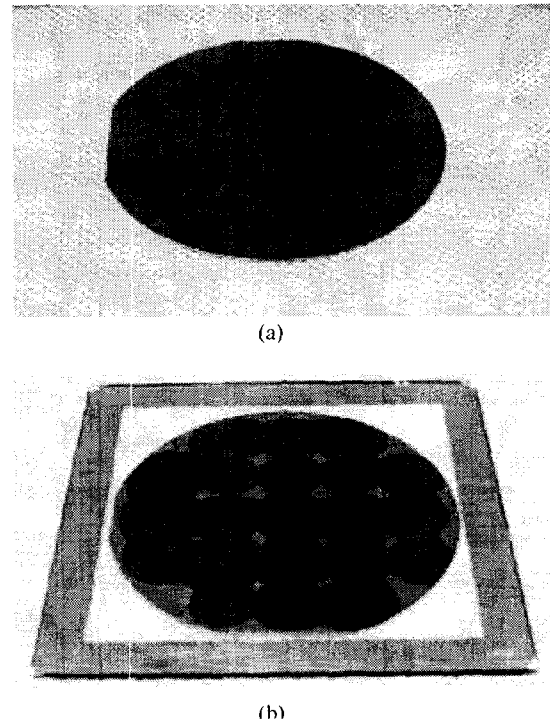
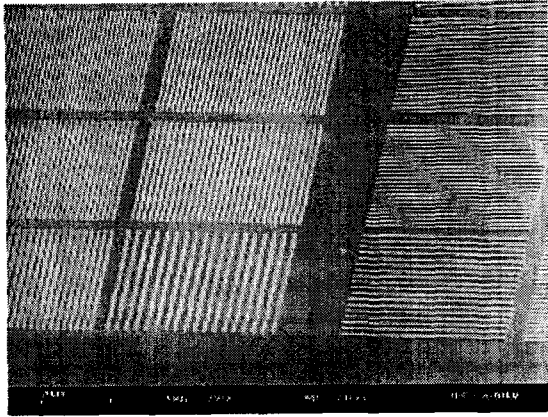
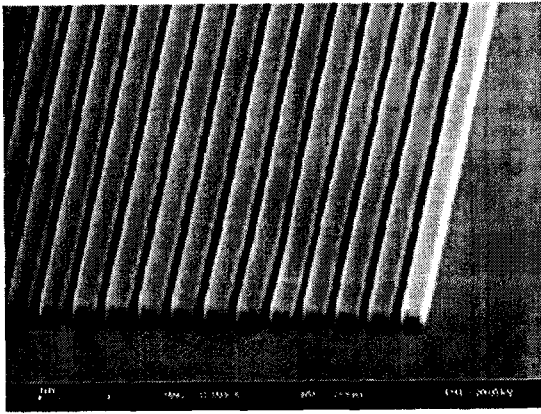


Figure 1. Resin drops (a) multi-dispensed on a wafer and (b) pressed by the quartz stamp.



(a)



(b)

Figure 2. SEM images of (a) the imprinted patterns of the resist and (b) a 377-nm wide and 200-nm high pattern spaced 100-nm apart.

본 연구에서는 5 in. 스탬프와 4 in. 웨이퍼를 사용한 임프린트 실험을 수행하기 위해서 0.2 μl 까지 유량제어가 가능한 pipette (Vistalab사)를 사용했으며, 각 단위영역 중앙에 dispensing을 용이하게 하기 위해 여러 개의 구멍이 가공된 가이드(guide)를 제작했다. 각 웨이퍼에 대해서는 세정 처리를 했으며, Figure 1(a)는 레지스트 액적을 multi-dispensing한 웨이퍼를 보여 주고 있다. Dispensing 가이드를 제작하여 사용했으나 수작업에 의해 위치 오차가 발생했고, 사용한 레지스트의 점도가 큰 관계로 0.2 μl 로 고정된 dispensing양 또한 다소의 변화가 발생했다. Figure 1(b)는 aligner MA6를 사용해서 가압(pressure = 1 N/cm²)한 상태에서 UV 노출(exposure time = 60 sec, exposure intensity = 12 mW/cm²)을 하여 레지스트가 경화된 후 스탬프가 웨이퍼에 부착되어 있는 상태를 보여주고

있다. 스탬프에 의해 눌러 원 형태를 이룬 레지스트의 직경이 차이를 보인 원인은 주로 dispensing한 액적 양의 편차 때문으로 판단되며, 다음으로는 스탬프와 웨이퍼 사이의 정렬 오차, 스탬프와 웨이퍼 평탄도가 영향을 주었을 것으로 보인다. Dispensing한 액적 양의 편차문제는 초정밀 자동 dispenser를 사용하면 쉽게 해결될 수 있을 것으로 판단된다. Dispensing 양의 편차와 가압력 부족으로 모서리부분이 일부 미 충전된 경우를 제외한 모든 단위영역이 완전 충전되었음을 확인할 수 있었다. 단위영역사이에 존재하는 미 충전부분은 최종적으로 제거될 부분으로, 스탬프에 의한 가압 시 이 부분에 공기가 고립되어 주위의 잔여두께를 증가시킬 소지가 있기 때문에 이를 방지하기 위한 연구가 현재 진행 중이다.

본 연구에서 사용한 aligner MA6는 경사를 주면서 스탬프와 웨이퍼를 분리할 수 있는 기능이 없기 때문에, 임프린트한 후 웨이퍼가 붙어있는 스탬프를 chuck으로부터 분리한 후 수작업으로 측면부부터 분리하였다.

Figure 2는 웨이퍼에 임프린트된 레지스트 패턴을 보여 주고 있다. 스탬프에 각인되어 있는 최소선폭 377 nm, 최소간격 100 nm, 높이 200 nm의 구조물을 포함해서 1 μm 까지 다양한 선폭의 구조물들이 상당히 정밀하게 전사된 것을 볼 수 있다. Figure 3은 임프린트된 선폭 600 nm 간격 400 nm 높이 200 nm 패턴의 단면을 보여 주고 있으며, 잔여 레지스트 두께는 1.1 μm 로 측정되었다. Aligner MA6에서 hard contact 모드를 적용한 경우 잔여 레지스트 두께는 3-4 μm 였으며, 가압한 상태에서 60 sec를 유지한 후 vacuum hard contact 모드를 적용한 결과 1 μm 내외의 잔여 레지스트 두께를 얻을 수 있었다. 가압한 상태에서 60 sec를 유지한 이유는 레지스트가 단위영역을 채울 수 있는 충분한

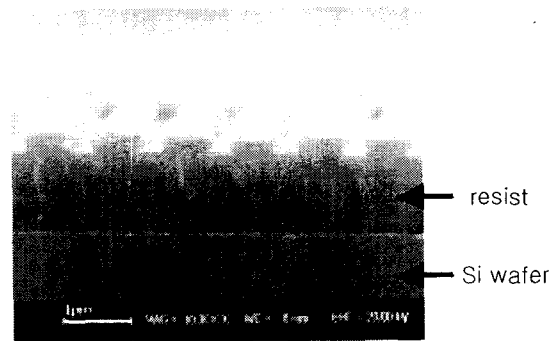


Figure 3. SEM image of the cross-section of the imprinted resist.

시간을 주기 위함이다. Figure 3에서 구조물의 단면이 직사각형의 형태로 보이지 않은 것은 패턴의 단면이 매끄럽게 절단되지 않았기 때문으로 보인다.

O₂ RIE (reactive ion etching)공정에 의해 임프린트된 패턴을 Si 웨이퍼로 전사하기 위해서는 충분히 작은 잔여두께(100 nm 선폭, 200 nm 높이 구조물에 대해 대략 500 nm 이하의 잔여두께 필요)가 요구되나, 본 연구에서 사용한 aligner MA6의 가압력(최대 가압력 $p = 1 \text{ N/cm}^2$)이 4 in. 웨이퍼에 대한 임프린트를 위해 충분하지 못한 관계로 1 μm 내외의 두께를 얻을 수 밖에 없었다. 5 × 5 mm 스탬프를 사용한 Hiroshima 등은 20-200 N/cm^2 의 압력을 가하여 초기 spin-coating 시 900 nm 두께의 레지스트를 290-480 nm로 임프린트 했음을 보고한 바가 있다. 본 연구에서는 아직 O₂ RIE 공정에 적용할 수 있을 만큼의 잔여두께를 얻지는 못했으나, multi-dispensing 방법에 의한 UV-NIL과 최소 선폭 377 nm 구조물을 갖는 5 in. quartz 스탬프를 사용하여 임프린트하는데 성공했으며, 공정시간은 2 분이었으나 UV intensity를 증가시키고 공정조건을 최적화한다면 공정시간을 보다 더 줄일 수 있다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 UV-NIL용 5 in. quartz 스탬프를 제작하고 점착 방지막을 처리하여 multi-dispensing 방식에 의한 UV-NIL 실험을 수행한 결과, 대기압 환경에서 4 in. 웨이퍼에 대해 377 nm-1 μm 선폭의 나노구조물을 성공적으로 임프린트할 수 있었다. 향후 계획으로 본 연구팀은 100 nm 이하 선폭을 갖는 quartz 나노 스탬프 제작에 관한 연구를 지속적으로 수행하며, O₂ RIE공정을 위하여 4 in. 웨이퍼 전체에 대해 잔여두께가 500 nm 이하로 균일하게 유지될 수 있는 방안에 대해 연구할 계획이다.

후 기

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비 지원(M102KNO1001)에 의해 수행되었다.

참고문헌

1. 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.

2. Colburn, M., Johnson, S., Stewart, M., Damle, S., Bailey, T., Choi, B., Wedlake, M., Michaelson, T., Sreenivasan, S.V., Ekerdt, J., and Wilson, C.G., "Step and flash imprint lithography: A new approach to high-resolution patterning," Proc. SPIE, Vol. 3676, pp. 379-389, 1999.

3. Sreenivasan, S.V., "Nanoimprint lithography using UV curable liquids," in ASME International Conference on Integrated Nanosystems, Berkeley, CA, September 18-20, 2002.

4. Hiroshima, H., Inoue, S., Kasahara, N., Taniguchi, J., Miyamoto, I. and Komuro, M., "Uniformity in patterns imprinted using photocurable liquid polymer," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, pp. 4173-4177, 2002.

5. Otto, H., Bender, M., Hadam, B., Richter, F., Spangenberg, B., and Kurz, H., "Step and repeat UV-Nanoimprint Lithography: Material Issues," in the 1st Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology, San Francisco, CA, December 11-13, 2002.