

## Elementwise Patterned Stamp 와 부가압력을 이용한 UV 나노임프린트 리소그래피

손현기, 정준호, 심영석, 김기돈, 이응숙(한국기계연구원 지능형정밀기계연구본부)

### UV Nanoimprint Lithography using an Elementwise Patterned Stamp and Pressurized Air

H. Sohn, J. H. Jeong, Y. S. Sim, K. D. Kim, E. S. Lee (Intelligent Precision Machine Division, KIMM)

#### ABSTRACT

To imprint 70-nm wide line-patterns, we used a newly developed ultraviolet nanoimprint lithography (UV-NIL) process in which an elementwise patterned stamp (EPS), a large-area stamp, and pressurized air are used to imprint a wafer in a single step. For a single-step UV-NIL of a 4" wafer, we fabricated two identical 5" × 5" × 0.09" (W × L × H) quartz EPSs, except that one is with nanopatterns and the other without nanopatterns. Both of them consist of 16 small-area stamps, called elements, each of which is 10 mm × 10 mm. UV-curable low-viscosity resin droplets were dispensed directly on each element of the EPSs. The volume and viscosity of each droplet are 3.7 nl and 7 cps. Droplets were dispensed in such a way that no air entrapment between elements and wafer occurs. When the droplets were fully pressed between EPS and wafer, some incompletely filled elements were observed because of the topology mismatch between EPS and wafer. To complete those incomplete fillings, pressurized air of 2 bar was applied to the bottom of the wafer for 2 min. Experimental results have shown that nanopatterns of the EPS were successfully transferred to the resin layer on the wafer.

**Key Words** : Elementwise Patterned Stamp, 부가 압력, 자외선 경화 저점도 수지(UV-curable low-viscosity resin), 레진 액적(resin droplet)

#### 1. 서론

Ultraviolet Nanoimprint Lithography(UV-NIL)는 자외선 경화성 저점도 레진(UV-curable low-viscosity resin)과 자외선 투과 나노스탬프(UV-transparent nanostamp)를 사용하여 상온·저압 환경에서 효율적으로 나노패턴(nanopatterns)을 제작할 수 있는 공정이다. UV-NIL 공정에서는 먼저 스탬프 또는 기질(substrate) 위에 레진을 스펀코팅(spin-coating)하거나 또는 액적(droplet) 형태로 도포(disperse)하고, 스탬프와 기질 사이에서 가압한 상태에서 자외선을 조사하여 레진을 경화시킨 후, 스탬프를 분리하고, 레진층(resin layer)에 형성된 나노패턴을 에칭공정(reactive ion etching)에서 기질 위에 전사(transfer)하는 공정이다. 현재 다양한 공정들이 개발되어 있으며, 그 중 일부는 상용화되었지만, 대부분의 경우에 있어 기질에 비해 적은 면적을 가진 나노스탬프를

이용하여 여러 번 반복적으로 임프린트하게 된다 [1-5]. 대표적인 공정인 Step & Flash Imprint Lithography (S-FIL) 공정에서는 웨이퍼 위에 다수의 자외선 경화성 저점도 레진 액적을 떨어뜨린 후, quartz 스탬프로 가압한 상태에서, 자외선을 조사하여 경화시키는 방식이다[3]. 이 때 1" × 1" 나노스탬프로 웨이퍼의 전체 면적에 대해 여러 번 반복하여 임프린트하게 된다. 이러한 Step-&-repeat 방식의 UV-NIL 공정은 여러 가지 장점에도 불구하고, 특성상 공정 시간이 길어지게 되어 생산성(throughput)이 낮아지는 단점이 있다. UV-NIL 공정 생산성을 향상시키기 위해 스탬프의 면적을 증가시키는 방법이 연구되고 있지만, 이 경우에는 공기 포집(air entrapment), 잔여층 두께 불균일(non-uniformity in residual layer thickness) 등의 결함이 발생하게 된다.

본 연구팀은 UV-NIL 공정의 생산성을 향상시키기 위해 스탬프의 면적을 증가시키는 경우에 발생

하는 결함을 해결하기 위해 자체 고안한 Elementwise Patterned Stamp(EPS)에 레진 액적을 도포하고 가압한 상태에서 웨이퍼에 공기압(pressurized air)을 가하는 새로운 UV-NIL 공정을 제안하였으며, 본 연구에서는 이 새로운 UV-NIL 공정을 이용하여 최소 선폭(line width) 70 nm의 패턴을 가진 5 × 5 quartz EPS를 제작하고, 이를 이용하여 4 실리콘 웨이퍼를 한 번에 임프린트하는 실험을 수행한다.

## 2. 실험

실험을 위해 2 개의 quartz EPS를 제작하였으며, 그 중 하나에는 나노패턴이 없으며, 나머지는 최소 선폭 70 nm의 패턴이 각인되어 있다. 제작된 EPS는 16 개의 element로 구성되어 있다(Fig. 1). 각 element의 면적은 10 mm × 10 mm이고, 높이는 1 μm이다. EPS의 작업면은 경화된 레진층과의 분리를 위해 점착방지막을 코팅하였다.

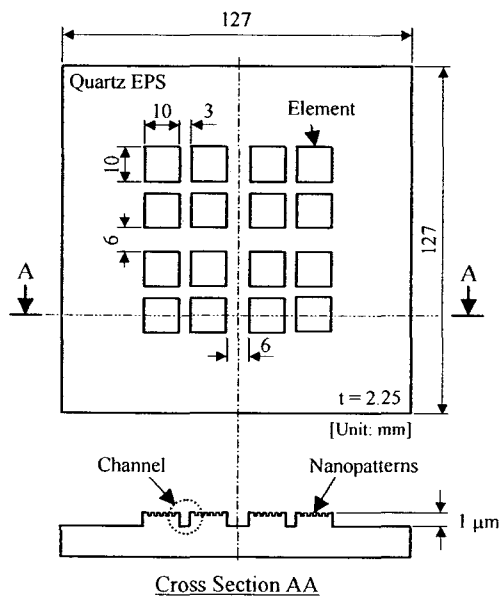


Fig. 1 Dimensions of the Elementwise Patterned Stamp.

대면적 스탬프를 이용하여 UV-NIL 공정 수행하는 경우에 스탬프와 웨이퍼의 작업면 굴곡(waviness) 오차에 의해 임프린트된 패턴과 잔여층의 두께가 불균일해진다(Fig. 2(a)). 이를 해결하기 위해 본 연구팀에서 개발한 UV-NIL 공정에서는 웨이퍼의 배면에서 공기압을 부가하여 EPS와 웨이퍼 사이에서 1차 가압된 레진층을 2차 가압하게 된다. 이때 1차 가압 시 불완전하게 임프린트된 레진층은 상대적으로 낮은 압력 상태이기 때문에 2차 부

가압력에 의해 추가로 가압되게 된다(Fig. 2(b)).

대기 중에서 UV-NIL 공정을 수행하는 경우에 임프린트된 레진층에 미세한 공기방울이 포집될 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 각 element와 웨이퍼 사이에서 가압되어 생성되는 레진의 유동 선단(flow front)이 element와 웨이퍼 사이에 있는 공기를 element 밖으로 밀어낼 수 있도록 각 레진 액적의 체적과 element의 면적을 고려하여 레진 액적의 도포 위치를 결정하여야 한다. 본 연구에서는 공기 포집이 발생하지 않도록 각 element에 5 개의 레진 액적을 도포하였다. 실험에서는 Tripropylene Glycol Diacrylate(TPGDA) 화합물인 레진을 사용하였으며, 그 점성은 7 cps이다. 분해능이 피코리터(pico-liter)인 초정밀 비접촉식 디스펜서(dispenser)를 사용하여 체적이 3.9 nl인 레진 액적을 각 element 위해 도포하였다.

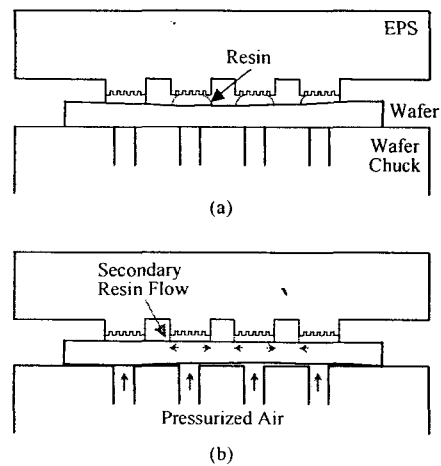


Fig. 2 When an EPS with resin droplets is pressed against a wafer, some incomplete imprints are usually observed (a). Then pressurized air is applied to complete all the incomplete imprints (b).

## 3. 결과 및 토론

패턴이 없는 EPS의 elements 상에 도포된 레진 액적이 elements와 웨이퍼 사이에서 가압되기 시작하면(Fig. 3(a)), 점차적으로 액적이 퍼지면서 5 개의 레진 액적들이 서로 만나게 되어 유동을 형성하게 되고(Fig. 3(b)), elements에 의해 액적이 완전히 눌러지면 element의 모서리 부분에서 불완전 충전(filling)이 발생하게 된다(Fig. 3(d)). 즉, 웨이퍼와 elements 사이의 굴곡 분포의 오차로 인해서 불완전하게 가압되는 부분이 발생하게 되는 것이다(Fig. 2(a)). 이때 웨이퍼의 아래 면에 공기압을 추가로 부가하면 elements와 웨이퍼 사이의 레진이 2차 가

압된다(Fig. 2(b)). 부가 압력이 불완전 충전된 부분에 가해져서 각 elements 가 완전 충전 된다(Fig. 3(e)).

실험에서 임프린트 시 각 element 에 도포된 5 개의 액적에 의해 형성되는 레진의 유동이 elements 와 웨이퍼 사이에 존재하고 있던 공기를 밀어내는 것을 볼 수 있다(Fig. 3(b)-(d)).

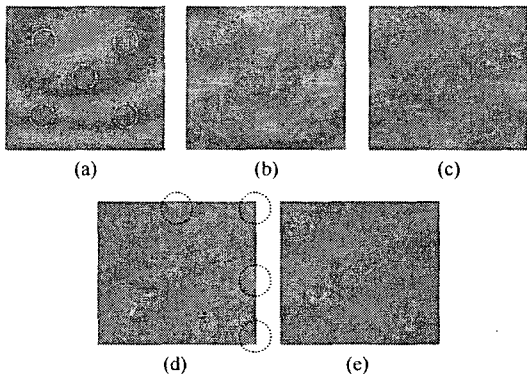


Fig. 3. Deformation of resin droplets deposited on a 4 wafer, when they are pressed by a  $5? \times 5?$  EPS (a)-(d), and then when pressurized air is applied (e).

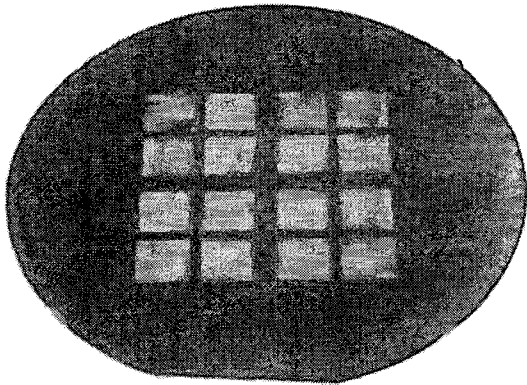


Fig. 4. A  $4?$  Si wafer imprinted with the EPS consisting of 16 elements, each of which is  $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ .

Fig. 4 에서 EPS 의 elements 에 의해 4 in. 웨이퍼 위에 한 번에 임프린트된 레진 박막층을 나타내었다. 자외선의 exposure dose 는  $14.4\text{ mW/cm}^2$  이고, 조사 시간은 60 초였다. 임프린트 공정에 앞서 웨이퍼의 작업면에 평탄화층(planarization layer)을 코팅하였다. 이것은 웨이퍼의 굴곡 오차를 줄이고 경화된 레진의 결합력을 높이기 위한 것으로, 그 두께는 측정결과  $62\text{ nm}$  이다. 실험에서 EPS 로부터 레진 액적에 부가되는 1 차 가압력은 약 0.5 기압이며, 가압된 상태에서 압축 공기에 의해 웨이퍼의 배면으로

부터 부가되는 2 차 가압력은 2 기압으로 하였으며, 가압 시간은 약 2 분이였다. 레진층의 두께 분포를 측정한 결과, 가장 두꺼운 부분의 두께가  $100\text{ nm}$  이고, 가장 얇은 부분의 두께는  $50\text{ nm}$  였다(Fig. 5(a)).

같은 공정 조건으로 최소 선폭이  $70\text{ nm}$  인 나노패턴이 각인된 EPS 를 사용하여 실험을 수행하였다 각 element 에서 잔여 두께의 분포는 패턴이 없는 경우와 유사했으나, 패턴 밀도가 높은 부분에서 잔여층의 두께가 상대적으로 더 얇아지는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 5(b)). 이것은 패턴의 밀도를 고려하지 않고 패턴이 없는 경우와 동일하게 액적의 도포 위치 및 체적을 정하였기 때문이다. 따라서 패턴의 밀도가 높은 부분에서 액적이 패턴을 충전하는데 대부분 소모되어 주위의 잔여층의 두께가 더 얇아진 것이다. 잔여층의 두께 분포를 균일하게 만들기 위해서는 스탬프의 패턴 밀도를 고려하여 레진 액적의 위치와 체적을 정하여야 할 것이다.

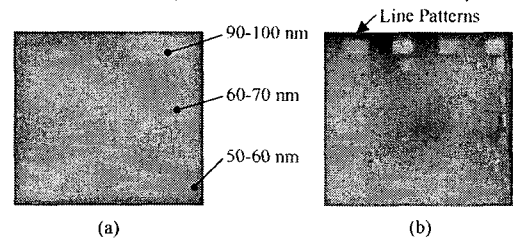


Fig. 5. Thickness distribution of an imprinted thin film by an element (a) without patterns and (b) with nanopatterns.

SEM(scanning electron microscope)을 이용하여 측정한 결과, EPS 의 elements 에 각인된 나노패턴은 Fig. 6 에서 보는 바와 같이 경화된 레진층에 성공적으로 전사된 것을 볼 수 있었다.  $70\text{ nm}$  선폭의 경우에는 전사된 패턴의 종횡비(aspect ratio)가 1:1 이므로 2 단계의 에칭공정을 통해 웨이퍼에 나노패턴을 전사할 수 있다.

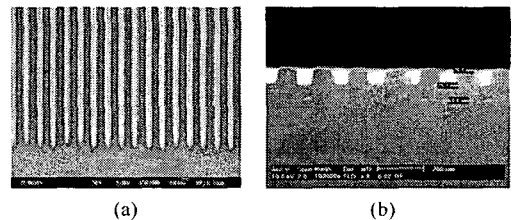


Fig. 6. SEM images of the imprinted  $70\text{-nm}$  line patterns: (a) top view and (b) cross-sectional view.

#### 4. 결론

본 연구에서는 UV-NIL 공정의 생산성 향상을 위해 Elementwise Patterned Stamp(EPS)와 부가압력을 이용한 새로운 UV-NIL 공정을 이용하여, 최소 선폭 70 nm 인 나노패턴을 제작하였다. 실험에서 5? × 5? quartz EPS 를 제작하고, elements 위에 레진 액적을 도포한 후, 한 번에 4 실리콘 웨이퍼의 전체 면적에 대해 UV-NIL 공정을 수행하였다. EPS 에 의한 1 차 임프린트에서 발생한 불완전 충전 부분은 웨이퍼에 2 bar 의 공기압을 2 분 동안 가하여 완전 충전시킬 수 있었다. 경화된 레진층에 EPS 의 나노패턴이 성공적으로 전사된 것을 확인할 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 21세기 프린터 연구개발 사업의 일환인 나노메카트로닉스기술개발 사업단의 연구비 지원(M102KN01001)에 의해 수행되었다.

#### 참고문헌

1. Haisma, J., Verheijen, M., and Heuvel, K., *Blot-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., *Blot and flash imprint lithography: A new approach to high-resolution patterning,*? Proc. SPIE, Vol. 3676, pp. 379-389, 1999.
3. Sreenivasan, S.V., *Blot 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., *Blot uniformity in patterns imprinted using photo-curable 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., *Blot and repeat UV-Nanoimprint Lithography: Material Issues,*? in the 1st Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology, San Francisco, CA, December 11-13, 2002.