

다중양각스탬프를 사용하는 UV 나노임프린트 리소그래피공 정에서 웨이퍼 미소변형의 영향

정준호*, 심영석, 최대근, 김기돈, 신영재, 이응숙 (한국기계연구원 지능형정밀기계연구부),
손현기 (한국기계연구원 첨단산업기술연구부), 방영매, 이상찬(목포대 기계공학과)

The effect of micro/nano-scale wafer deformation on UV-nanoimprint
lithography using an elementwise patterned stamp

Jun-Ho Jeong*, Young-Suk Sim, Dae-geun Choi, Ki-don Kim, Young-Jae Shin, and Eung-Sug Lee (Dept.
of Intelligent Precision Machine, KIMM), Hyonkee Sohn (Dept. of Advanced Industrial Technology,
KIMM), Lingmei Fang, Sang-chan Lee (Dept. of Mechanical Engineering, MNU)

ABSTRACT

In the UV-NIL process using an elementwise patterned stamp (EPS), which includes channels formed to separate each element with patterns, low-viscosity resin droplets with a nano-liter volume are dispensed on all elements of the EPS. Following pressing of the EPS, the EPS is illuminated with UV light to cure the resin; and then the EPS is separated from several thin patterned elements on a wafer. Experiments on UV-NIL were performed on an EVG620-NIL. 50 – 70 nm features of the EPS were successfully transferred to 4 in. wafers. Especially, the wafer deformation during imprint was analyzed using the finite element method (FEM) in order to study the effect of the wafer deformation on the UV-NIL using EPS.

Key Words : : UV-nanoimprint lithography (UV-나노임프린트 리소그래피), Nanostamp (나노스탬프), Nanostructure (나노구조물)

1. 서론

나노임프린트 리소그래피(nanoimprint lithography, NIL) 기술[1-6]은 경제적이고도 효과적으로 나노구조물을 제작할 수 있는 기술로, 나노구조물(nanostructure)이 각인된 스탬프(stamp)를 기재(substrate) 위에 스핀코팅(spin-coating) 또는 디스펜싱(dispensing)된 레지스트(resist) 표면에 눌러 나노구조물을 전사(transfer)하는 기술이다. 2003 년 international technology roadmap for semiconductors (ITRS)에는 NIL 기술이 신규로 추가되었는데 이는 extreme ultraviolet lithography (EUV), mask-less lithography (ML2)와 더불어 차세대 리소그래피로서의 가능성을 인정 받았음을 의미한다.

UV-NIL (ultra-violet nanoimprint lithography)은 기재 위에 스핀코팅 또는 액적(droplet)형태로 도포된 자외선 경화수지를 스탬프로 가압한 상태에서 자외

선을 조사하여 수지를 경화시킨 후, 에칭공정을 거쳐 나노패턴(nanopattern)을 기재 위에 전사하는 공정이다. 본 연구에서는 대면적 스탬프인 EPS (elementwise patterned stamp)를 사용한 UV-NIL[6] 에서 웨이퍼 변형이 임프린트(imprint) 결과에 미치는 영향을 살펴보기 위해 실험 및 수치해석을 수행하고 그 결과에 대해 토론한다.

2. 실험결과

실험에 사용한 5 인치 EPS 는 기존의 반도체 마스크(mask) 제작 공정과 추가적인 수정(quartz) 원판 에칭공정을 거쳐 제작하였다. EPS 는 제작 후 점착 방지막처리를 하였고 4 인치 웨이퍼(wafer)는 전형적인 반도체 세정처리를 하고 스핀코팅 방법으로 평탄층을 형성한 후 임프린트 공정을 수행하였다.

본 실험에서 사용한 광경화성 수지는 Tripropylene Glycol Diacrylate (TPGDA) 화합물로 7-8 cps의 점성을 가지고 있으며, EPS의 단위요소 위에 5개의 2 nl 액적(droplet)들을 디스펜싱(dispensing)하였다. 임프린트 실험은 EVG620-NIL을 이용하여 진행했으며, 930 mbar의 가압력과 2 min 가압시간, 90 sec의 노광시간을 기본 공정 조건으로 하였다.

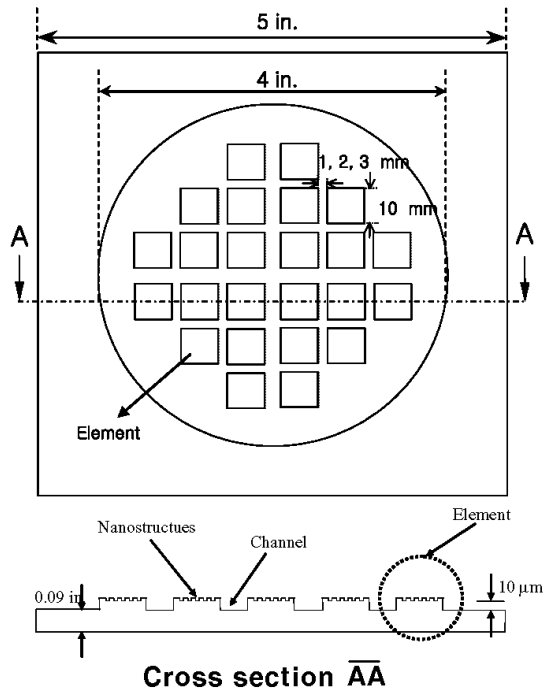


Fig. 1 The geometry of EPS.

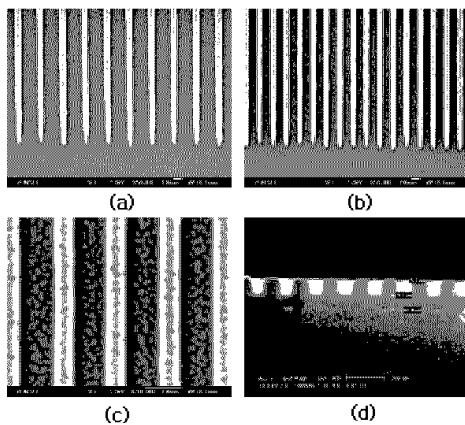


Fig. 2 SEM images of the imprinted lines with a width of (a) 70 nm, (b and c) 50 nm, and (d) the cross section of 70 nm lines.

실험을 위하여 10 mm의 단위요소에 각각 1 mm, 2 mm, 3 mm의 간격(channel)을 갖는 3개의 EPS를

그림 1과 같이 제작하였고, 단위요소의 양각 높이는 모두 10 μm 이다. 또한 웨이퍼 두께를 변화시키는 실험은 3 mm 간격을 갖는 EPS를 기준으로 진행하였으며, 100 - 500 μm 두께의 웨이퍼를 사용하였다. 50 nm에서 200 nm까지 다양한 선폭과 간격을 갖는 선들로 구성된 패턴들은 10 mm의 단위요소 위에 형성되어 있다. 그림 2는 제작한 EPS를 사용하여 임프린트한 70 nm와 50 nm 구조물의 SEM 사진을 보여주고 있다.

2.1 웨이퍼 두께 변화의 영향

그림 3은 3 mm의 간격을 갖는 EPS를 사용하고 웨이퍼 두께의 변화를 주면서 임프린트를 수행한 결과를 보여주고 있다. 100 - 400 μm 두께의 웨이퍼에서는 단위요소의 불균일한 충전율을 확인할 수 있었으며 그 불균일 정도는 웨이퍼 두께가 작을수록 심하게 나타났다. 이러한 현상은 압력이 가해지는 순간, 수지가 단위요소 충분히 퍼지기 전에 웨이퍼의 과도변형이 발생하여 수지의 유동 선단부가 초기위치로부터 크게 벗어나지 못했거나 불균일 충전 현상이 발생한 것으로 판단된다. 이에 반하여 500 μm 두께의 웨이퍼에서는 본 실험에서 사용된 압력조건에서 양호한 충전을 보여주고 있다.

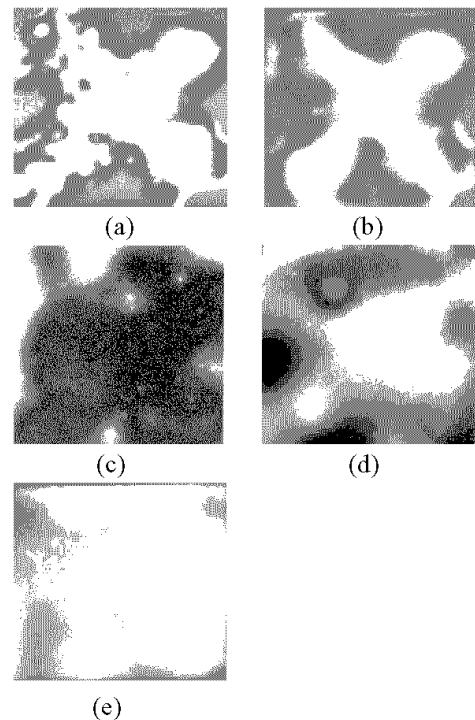


Fig. 3 The elements to be imprinted on wafers with a thickness of (a) 100 μm , (b) 200 μm , (c) 300 μm , (d) 400 μm , (e) 500 μm .

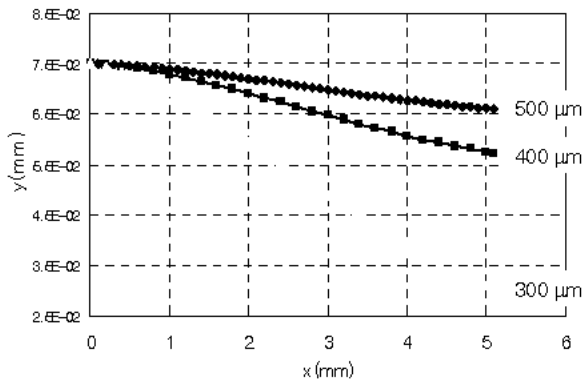


Fig. 4 The variation of wafer deformation with wafer thickness.

이와 같은 실험결과와 이론적 해석을 위해서는 수지 액적의 유동해석과 웨이퍼의 구조해석이 동시에 연계되어 이루어져야 하나, 본 연구에서는 웨이퍼의 두께변화에 따른 상대적인 변형 정도만을 확인하고자 해석 모델을 단순화하여 유한요소법(finite element method, FEM)으로 해석하였다. 즉, 초기 액적은 반구형이고 반경은 $75 \mu\text{m}$ 이며 가압 시 액적의 유동과 변형은 없다고 가정하였다. 한 개의 액적만이 10 mm 단위요소의 중앙에 존재한다고 가정하고 가압력은 실험조건인 930 mbar 를 사용하여 2차원 해석을 수행했으며 그 결과는 그림 4 와 그림 5 에 나타냈다.

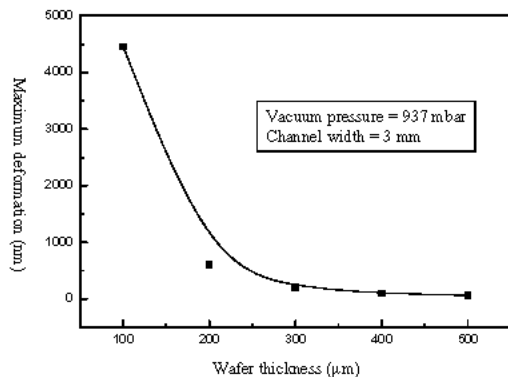


Fig. 5 Maximum deformation in the channel with a width of 3 mm versus wafer thickness.

그림 4 는 $300 \mu\text{m}$, $400 \mu\text{m}$, $500 \mu\text{m}$ 두께에 대한 해석 변형 결과를 보여주고 있다. 액적이 위치하는 중앙위치에서부터 단위요소의 외각까지 웨이퍼의 변형을 나타낸 그림으로 단위요소의 측면부를 살펴 보면 $500 \mu\text{m}$ 두께 웨이퍼의 변형에 비하여 $400 \mu\text{m}$ 두께 웨이퍼의 변형은 약 2 배, $300 \mu\text{m}$ 의 경우는

4.5 배에 이르는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 임프린트 실험결과와의 직접적인 비교는 어려우나 실험 결과에서 나타난 수지의 흐름 불량에 따른 미충전 현상은 간접적으로 예측된다. 즉, $300 \mu\text{m}$ 의 경우는 $500 \mu\text{m}$ 에 비하여 가압에 의한 초기 변형이 심하게 발생하여, 액적이 충분히 퍼지기 전에 웨이퍼 표면과 단위요소 표면이 과도하게 밀착됨에 따라 가압 및 표면장력에 의한 수지의 흐름을 방해하기 때문으로 예상된다.

그림 5 는 채널 부에서 발생하는 최대 변위량을 비교한 것이다. 그림 4 에서도 나타난 바와 같이 채널 폭이 3 mm 이고 웨이퍼 두께가 $100 \mu\text{m}$ 인 경우 $4 \mu\text{m}$ 이상의 변형이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 단위요소 측면부에서 웨이퍼의 굽힘현상이 심하게 발생하여 수지의 흐름을 방해하는 요인으로 작용할 수 있음을 보여 주는 결과라고 판단된다.

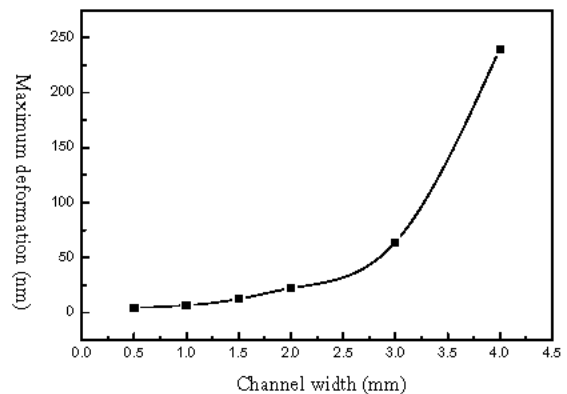


Fig. 6 Maximum deformation in the channel with a width of 3 mm versus channel width.

2.2 EPS 의 채널 폭 변화의 영향

앞서 설명된 공정조건으로 $500 \mu\text{m}$ 의 웨이퍼를 가지고 EPS 의 채널 폭을 변화시킨 경우, 대략 2.5 mm 까지는 최대 변형값이 완만하게 증가하는 결과를 보였으나, 3 mm 이상에서는 급격한 증가 경향을 보였다. 그림 6 에서 예측된 채널부 최대변위값의 증가현상을 단위요소 측면부의 잔류층 두께분포와 직접 연계하는 것은 힘들지만, 채널부 최대변위의 증가는 단위요소 측면부에서의 웨이퍼 굽힘변형을 증가시켜 측면부에서의 잔류층 두께 변화를 증가시킬 가능성이 있다고 판단된다.

2 mm 이내의 채널에서는 최대변형량이 30 nm 이하로 예측되어 임프린트 시 큰 영향을 주지 않을

것으로 판단된다.

4. 결론

가압단계에서 나타나는 웨이퍼 미소변형은 초기 EPS 의 표면과 웨이퍼 표면의 수 마이크로 크기의 미소굴곡형상 차이에도 불구하고 두 표면간의 균일 접촉을 가능하게 한다. 그러나 이 웨이퍼 미소변형은 930 mbar 의 가압조건에서 웨이퍼 두께가 500 μm 이하로 감소할 경우 과도한 변형에 의해 수지의 흐름에 부정적인 영향을 줄 수 있음을 확인할 수 있었으며, EPS 채널 내에서의 최대 굽힘 변형 값을 해석을 통하여 예측할 수 있었다. 또한, EPS 의 채널은 웨이퍼의 국소변형을 일으켜 임프린트 후 잔류층 두께 분포에 영향을 줄 수 있기 때문에, 500 μm 두께의 웨이퍼를 사용하는 경우 채널 폭을 2 mm 이하로 하는 것이 적정하다고 판단된다. 이러한 결론은 본 실험에서 사용한 930 mbar 의 압력조건에 한정된 것으로 다양한 가압조건에 따른 추가적인 연구가 필요하다고 하겠다.

후 기

본 연구는 21세기 프론티어연구개발 사업인 나노메카트로닉스기술개발 사업단의 연구비 지원(M102KN01001)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 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., "Step and repeat UV-Nanoimprint Lithography: Material Issues," in the 1st Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology, San Francisco, CA, December 11-13, 2002.
6. Jeong, J.-H., Sim, Y.-S., Sohn, H., Lee, E.-S., "UV nanoimprint lithography using an elementwise patterned stamp," Microelectronic Engineering, Vol. 75(2), pp.165-171, 2004.