

EPS(elementwise patterned stamp)활용 UV나노임프린트 공정에서의 웨이퍼 미소변형의 영향

심영석 · 정준호[†] · 손현기* · 이응숙 · 방영매** · 이상찬**

한국기계연구원 지능형 정밀기계연구부

*한국기계연구원 첨단산업기술 연구부, **목포대학교 기계공학과
(논문접수일 : 2004년 10월 13일)

The effect of wafer deformation on UV-nanoimprint lithography using an EPS(elementwise patterned stamp)

Young-suk Sim · Jun-ho Jeong[†] · Hyonkee Sohn* · Eung-sug Lee · Lingmei Fang** · and Sang-chan Lee**

Dept. of intelligent precision machine, Korea Institute of Machinery & Materials

*Dept. of advanced industrial technology, Korea Institute of Machinery & Materials

**Dept. of Mechanical Engineering, Mokpo National University

(Received October 13, 2004)

요 약

본 실험에서는 단위요소 사이에 채널을 갖는 Elementwise Patterned Stamp (이하 EPS)를 이용하여 싱글스텝(single step)으로 4인치 웨이퍼를 임프린트 하는 공정을 수행하였다. 단위요소간의 간격이 3mm인 EPS를 이용한 임프린트에서 50 - 100nm급의 패턴을 성공적으로 형성하였다. 그러나 임프린트 과정 중 EPS의 채널 부분에서 웨이퍼의 미소변형이 발생하여 단위요소의 미충전과 불균일한 잔여층이 형성되는 문제들이 발생하였다. 본 논문에서는 이러한 웨이퍼의 미소변형이 단위요소 충전과 패턴형성에 미치는 영향을 확인해 보기 위해 웨이퍼의 두께를 100 - 500 μ m로 변화시키며 임프린트 실험을 수행하였고, 유한요소법(Finite Element Method, FEM)을 이용한 수치모사를 통하여 실험결과를 확인하였다. 또한 웨이퍼의 미소변형이 발생하는 또 다른 요인인 EPS의 채널 폭을 3mm, 2mm, 1mm로 변화시키며 수행한 수치모사를 통하여 안정된 임프린트 조건을 제시하였다.

주제어 : UV-나노임프린트(UV-nanoimprint), 다중패턴스탬프 : Elementwise Patterned Stamp(EPS)

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 - 100nm features of the EPS with 3mm channels 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 : Ultraviolet-Nanoimprint Lithography : UV-NIL, Elementwise Patterned Stamp(EPS)

1. 서 론

나노임프린트 리소그래피(Nanoimprint lithography, NIL) 공정기술은 나노스케일의 패턴들을 값싸게 대량생산할 수 있다는 장점을 가진 기술로 현재 보고되고 있는 최소 선폭은 6nm [1]에 이르며, 임프린트 후의 잔여두께 또한 30nm 이하로 형성하여, 후속 에칭공정이나 증착 공정을 용이하게 할 수 있을 정도로 나노임프린트 기술은 많은 발전을 이루었다. 가열방식(thermal type)-NIL [1,2], Ultraviolet (UV)-NIL [3-9] 등 여러 응용분야에 적용할 수 있는 다양한 형태의 임프린트 기술들이 소개되고 있으며, 본 논문에서는 수정 스탬프 제작이 기술적으로 상당히 어렵다는 단점이 있으나, 상온 저압에서 공정수행이 가능하고 적층공정이 용이한 UV-NIL 공정기술을 이용한 실험을 수행하였다.

단위요소간의 간격이 3mm인 EPS(Elementwise Patterned Stamp)를 이용한 임프린트에서 레지스트가 충전되어 100 nm 이하 박막이 형성된 영역에서는 50 nm급의 패턴이 성공적으로 형성된 것을 실험적으로 확인 할 수 있었다. 그러나 특정한 실험조건에 대해서는 나노패턴 박막을 형성할 광경화성 레지스트가 초기 위치로부터 단위요소 경계까지 충분히 퍼져나가지 못하는 경우가 발생하였다. 이러한 경우 단위요소의 미 충전 문제와 불균일한 잔여층을 형성시켜 대면적의 임프린트에 큰영향을 미치게 된다.

앞선 문제들은 EPS를 사용하면서 나타나는 웨이퍼의 미소변형에 의한 현상들로 EPS의 채널 폭과 가압조건, 웨이퍼의 두께 및 표면의 불균일에 기인하는 것으로 추정된다. 본 논문에서는 수치모사를 통하여 EPS의 채널 폭 변화에 따른 웨이퍼 미소변형을 예측하였으며, 웨이퍼의 두께 변화에 의한 임프린트 실험으로 웨이퍼의 미소변형이 임프린트 시에 단위요소의 충전에 미치는 영향을 확인하고자 한다.

2. UV-나노임프린트 실험

실험에 사용한 5인치 EPS는 일반적인 반도체 마스크로 사용되는 마스크용 수정 스탬프를 사용하여

제작하였으며, 이를 이용한 EPS 제조 과정은 앞선 논문에서 상세히 설명되어있다 [9,10]. 제작된 EPS는 점착방지막 처리를 하였고, 준비된 4인치 웨이퍼들은 일반적인 클리닝 방법으로 처리한 후 스핀코팅 방법으로 평탄층을 형성하여 임프린트 실험의 준비를 하였다. 패턴이 형성될 광 경화성 레지스트는 공기포획 현상을 방지하기 위해 디스펜싱 방법을 사용하였다. 본 실험에서 사용된 광 경화성 레지스트는 Tripropylene Glycol Diacrylate (TPGDA) 화합물로 7 - 8cps의 점성을 가지고 있으며, EPS의 단위요소 위에 2nl × 5 위치에 디스펜싱 하여 사용하였다. 사용된 디스펜싱 방법은 극소량을 정확히 토출시킬 수 있는 제팅방식(jetting system)을 이용하였으며, 30pl의 분해능을 가지고 있다.

임프린트 실험은 EVGroup사의 EVG620-NIL을 이용하여 진행하였으며, 930mbar의 가압력과 2min간의 가압시간, 14.4mW/cm²에서 90sec의 노광시간을 기본 공정 조건으로 하였다.

사용된 EPS(그림 1)는 10mm의 단위요소와 3mm의 채널간격을 가지며, 이블리소그래피와 반응성 이온식각을 통하여 단위요소 위에 부분적으로 패턴을 형성하였다. 10mm의 단위요소는 양각 형태로 제작하였고, 기본 양각의 높이는 10 μ m로 하였다. 100 - 400 μ m 두께의 웨이퍼는 500 μ m 두께의 웨이퍼를 가공하여 사용하였으며, Total Thickness Variation(TTV) 값은 프라임 등급의 웨이퍼 수준인 1.5 - 2 μ m로 측정되었다.

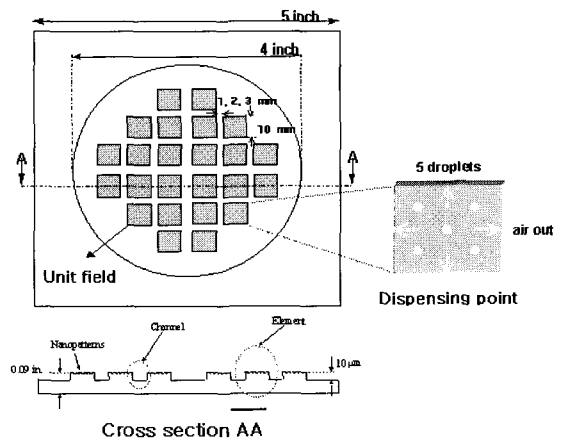


그림 1. The geometry of the EPS

3. 결과 및 토론

그림 2는 임프린트 후에 웨이퍼 위에 전사된 패턴을 보여주고 있다. 50 - 70nm의 EPS 패턴들이 성공적으로 전사되었음을 확인할 수 있으며, 평탄층으로 사용된 BARC-DUV 30J (Brewer Science)의 두께와 후속 에칭공정의 중요한 요소인 잔여층 두께의 합이 대략 130nm로 측정되었다.

그림 3은 3mm의 간격을 갖는 EPS를 이용하여, 웨이퍼의 두께 변화를 주며 수행한 임프린트 실험의 단위요소 분포 사진이다. 100 - 400 μm 두께의 웨이퍼에서는 국부적 미소변형에 의한 단위 요소의 불균일한 충전이 확연히 보여진 반면, 500 μm 두께의 웨이퍼에서는 단위요소 전체가 완전충전된 것을 확인할 수 있다. 100 - 400 μm 두께의 웨이퍼 조건에서는 압력이 가해지는 순간, 광경화성 레지스트가 단위 요소 내에 퍼지기 전에 웨이퍼의 미소변형이 과도하게 발생하여, 최초의 디스펜싱 위치로부터 충분히 퍼지지 못하는 불완전한 충전 현상을 보였다. 웨이퍼가 얇을수록 이러한 경향은 더 심하게 나타났다.

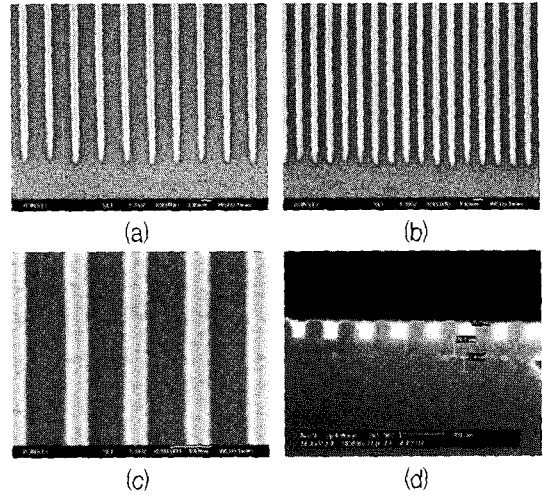


그림 2. SEM images of the imprinted patterns (a) 70 nm line (b, c) 50 nm line (d) cross section of 70 nm line

그림 4는 본 실험에서 사용된 EPS와 웨이퍼의 미소변형을 보여주는 계략도이다. 앞선 웨이퍼의 두께변화에 의한 실험결과를 분석하고자 유한요소법(Finite Element Method, FEM)에 의한 해석을 수행

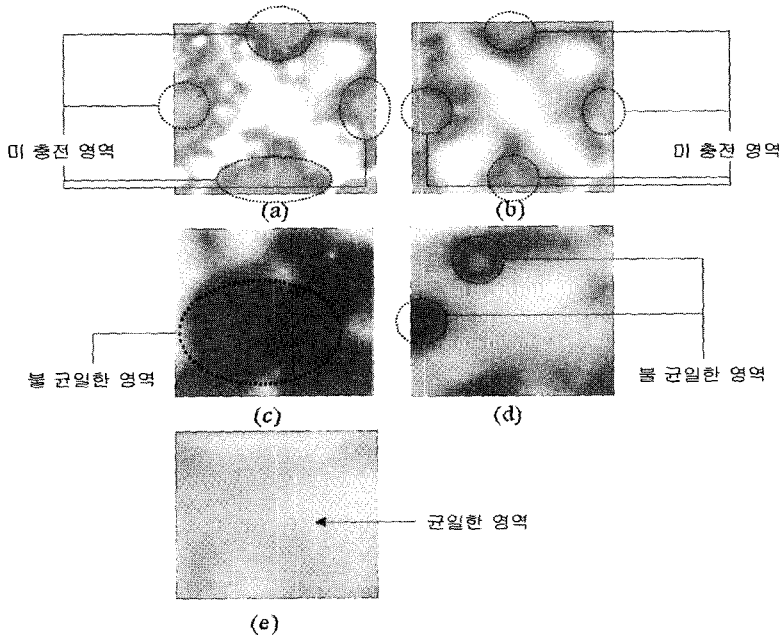


그림 3. The distribution of residual layer thickness with wafer thickness (a) 100 μm (b) 200 μm (c) 300 μm (d) 400 μm (e) 500 μm

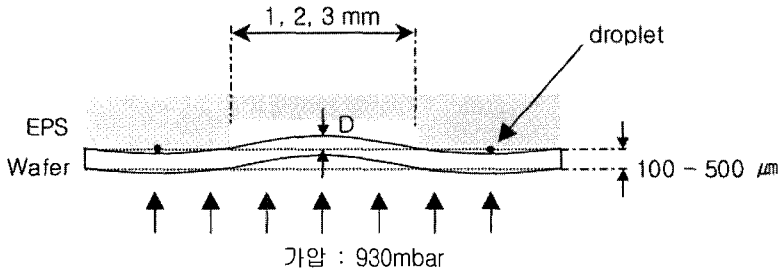


그림 4. The geometry of imprint using an EPS (D : maximum deformation)

하였다. 액적의 유동해석과 웨이퍼의 구조해석이 동시에 연계되어 이루어져야하나, 본 연구에서는 웨이퍼의 두께변화에 따른 상대적인 변형정도만을 확인하고자 모델을 단순화하였다. 해석에 사용된 물성 값은 표 1과 같다. 초기 액적의 높이는 $75\mu\text{m}$ 이며 가압 시 액적의 유동과 변형은 없다고 가정하였고, 실제 실험과 같은 조건인 930mbar의 압력 하에서 2차원해석을 수행하였다.(그림 5, 그림 6)

그림 5는 액적이 위치하는 단위요소 중앙부터 외각까지 웨이퍼의 변형을 나타낸 그림이다. 200 - $500\mu\text{m}$ 의 웨이퍼는 단위요소 중앙부터 외각까지 표

면의 접촉 없이 변형되었으나, $100\mu\text{m}$ 의 경우는 극단적인 웨이퍼의 변형이 일어나 3.5mm 외각부터는 EPS의 표면에 웨이퍼가 밀착되어 수지의 흐름을 방해하는 것이 확연히 보여진다.(그림3 (a)) 이처럼 같은 압력조건 하에서의 이런 웨이퍼의 변형은 웨이퍼가 얇아질수록 레지스트의 흐름을 방해하여 단위요소내의 미충전과 불균일한 잔여층을 형성 시키는 것으로 예측되었다.

그림 6은 채널부에서 발생하는 웨이퍼의 최대 변위량 D를 나타낸 그림이다. 웨이퍼가 얇아질수록 웨이퍼의 최대변위량이 급격히 증가함을 보여주며, $100\mu\text{m}$ 의 경우 최대변위량이 증가되지 못한 것은 웨이퍼의 변형이 크게 발생하여 EPS와 웨이퍼의 표면이 접촉되어 초기 액적높이의 차이만큼이 유지된 것으로 보여진다.

그림 7은 액적이 없는 상태에서 EPS와 $500\mu\text{m}$ 두께의 웨이퍼를 접촉시킨 후 가압한 상태에서 해

표 1. Material property

	Material	Modulus of Elasticity	Poisson's Ratio
wafer	Si	112.4 Gpa	0.28
EPS	SiO ₂	78 Gpa	0.17

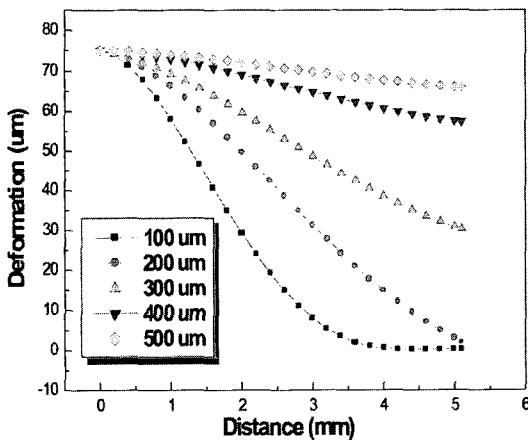


그림 5. The variation of wafer deformation with wafer thickness

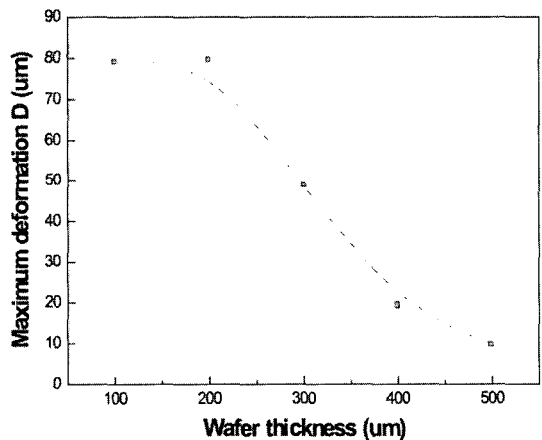


그림 6. Maximum deformation in the channel with width of 3mm versus wafer thickness

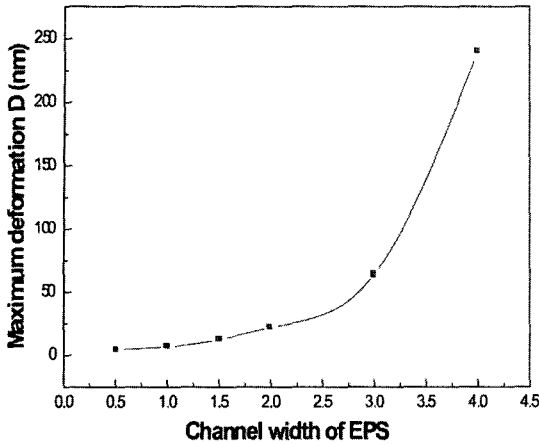


그림 7. Maximum deformation in the channel with a width of 3 mm versus channel width

석한 채널부의 최대변위량을 나타낸 그림이다. 대략 2.5mm까지는 완만한 증가를 보였으나, 3mm 이상에서는 급격한 증가 경향을 보였다. 해석된 최대변위량과 단위요소의 잔여층 두께의 직접적인 비교는 힘들지만, 최대변위량의 증가는 미소변형을 유발하여 잔여층 두께를 낮추는 역할을 하게 되는 것으로 예상된다. 2mm 이내의 채널간격에서는 최대 변위 량이 30nm 이하로 예측되어 임프린트시 큰 영향을 주지 않으며, 안정적인 경향을 보일 것으로 추정된다.

4. 결 론

본 논문에서는 3mm의 채널 폭을 갖는 EPS를 이용하여 임프린트 실험을 수행하였다. EPS를 사용하면서 나타나는 웨이퍼의 미소변형은 EPS의 단위 요소와 웨이퍼의 접촉면이 갖는 평탄도의 차이를 최소화 시켜 모든 단위 요소를 충전 시킬 수 있게 함으로써 싱글스텝(single step)으로 대면적 임프린트 수행을 가능하게 해준다. 그러나 웨이퍼가 과도하게 얇거나 EPS의 채널 폭이 넓으면 웨이퍼의 미소변형 정도가 과도하게 나타나 단위요소의 외각영역에서 불균일한 잔여층을 형성시킬 수 있다. 임프린트 실험과 유한요소법에 의한 수치모사로 EPS의 채널 폭과 웨이퍼의 두께가 미소변형을 유발하는 주요 요인임을 알 수 있었으며, 본 실험에서 사용된 공정조건에서는 500 μ m 두께의 규격웨이

퍼 에서는 2mm 이내의 EPS 간격에서 안정된 경향을 보임을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 21세기 프론티어연구개발 사업인 나노메카트로닉스 기술개발사업단의 연구비지원(M102KN01001)에 의해 수행되었다.

참 고 문 헌

- [1] S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **14** 4129 (1996).
- [2] S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, *Appl. Phys. Lett.* **67**, 3114 (1995). ; *Science* **272**, 85 (1996).
- [3] I. Haisma, M. Verheijen, and K. Heuvel, *J. Vac. Sci. Technol. B* **14**, 4124 (1996).
- [4] M. Colburn, S. Johnson, M. Stewart, S. Damle, T. Bailey, B. Choi, M. Wedlake, T. Michaelson, S. V. Sreenivasan, J. Ekerdt, and C. G. Wilson, *Proc. SPIE* **3676**, 379 (1999).
- [5] M. Bender, M. Otto, B. Hadam, B. Spangenberg, and H. Kurz, *Microelectron. Eng.* **61-62**, 407 (2002).
- [6] S.V. Sreenivasan, in: *ASME International Conference on Integrated Nanosystems*, Sept. 18-20, Berkeley, USA, 2002.
- [7] H. Hiroshima, S. Inoue, N. Kasahara, J. Taniguchi, I. Miyamoto, and M. Komuro, *Jpn. J. Appl. Phys.* **41**, 4173 (2002).
- [8] D. P. Mancini, K. A. Gehoski, W. J. Dauksher, K. J. Nordquist, D. J. Resnick, P. schumaker, and I. McMackin, *Proc. SPIE* **5037** 187-196.
- [9] J. H. Jeong, Y. S. Sim, H. K. Sohn, and E. S. Lee, *Microelectron. Eng.* **75**, 165 (2004).
- [10] S. Y. Sim, J. H. Jeong, H. K. Shon, Y. J. Shin, E. S. Lee, S. W. Choi, and J. H. Kim, *J. K. Vac. Sci.* **13**, 39 (2004).