다중 디스펜싱 방법에 의한 UV-나노임프린트 리소그래피

UV nanoimprint lithography using a multi-dispensing method

정 준 호*, 심 영 석, 손 현 기, 신 영 재, 이 응 숙
(Jun-ho Jeong, Young-suk Sim, Hyonkee Sohn, Young-jae Shin, and Eung-suk Lee)

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 transferred nanostructures depends strongly upon that of nanostamps, the nanostamp fabrication technology is a key technology to UV-NIL. In this paper, a 5 × 5 × 0.09 in. quartz stamp whose critical dimension is 377 nm was fabricated using the etching 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.

Keywords : UV-nanoimprint lithography, nanostamp, nanofabrication, quartz stamp

I. 서론

1996년 Chou교수[1]가 개발한 가열방식의 나노임프린트 리소그래피(nanoimprint lithography, NIL)은 선폭 100 nm 이하의 나노구조물을 경제적으로 제작할 수 있는 대표적인 나노패턴닝(nano-patterning)공정으로 많은 기대가 모아지고 있으나, 몇 가지 문제점을 갖고 있다. 다층(multi-layer)작업 시 열변형에 의해 다층정렬이 어렵다는 점과, 점도가 큰 레지스트(resist)를 임프린트하기 위해서는 고압(30 bar 정도)이 필요하기 때문에 하단에 제작된 구조물이 손상될 수 있으며, NIL에서 일반적으로 사용되는 불투명한 스탬프(stamp)는 다층화 정렬작업에 불리하게 작용한다. 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 방법으로는 상온저압 프린팅 공정기술인 UV 나노임프린트 리소그래피(ultraviolet nanoimprint lithography, UV-NIL)를 들 수 있다.

UV-NIL은 1996년 Philips 연구팀인 Haisma 등[2]에 의해 발표된 바가 있으나 반도체공정에 적용하기 위한 체계적인 연구는 Sreenivasan 등[3-4]에 의해 이루어 졌다고 할 수 있다. 이 공정기술은 UV 경화소재를 사용하여 상온저압으로 나노구조물을 제작할 수 있는 기법으로, 가열방식 NIL에서는 일반적으로 실리콘 스탬프가 사용되는데 반하여, UV 투과성 재질인 수정(quartz), 유리(glass) 등으로 제작된 스탬프가 사용된다는 점이 특징이다.

UV-NIL의 기본 원리는 그림 1에서 나타난 바와 같이 기판(substrate) 위에 코팅된 UV 경화소재를 UV 투과성 스탬프로 가압한 상태에서 UV를 조사하여 경화시킨 후, 이방성 에칭 과정과 lift-off 과정을 거쳐 나노패턴을 기판 위에 전사하는 방식이다. 1999년에 Sreenivasan 등[3-4]이 제안한 Step & Flash Imprint Lithography (SFIL) 공정에서는 전달층(transfer layer)을 추가로 사용한다는 점과 UV 경화 레지스트를 충전시키는데 있어 표면장력을 이용한다는 점이 특징이며, 현재는 전달층과 스탬프 사이에 UV 경화 레지스트 액적을 떨어뜨린 후 스탬프로 가압하는 방식으로 연구가 진행되고 있다. SFIL의 또 다른 특징은 step & repeat 방식으로 전체 웨이퍼를 한번에 임프린트하는 것이 아니라 소 단위 크기의 스탬프로 여러번 반복하여 임프린트하는 방식을 채택하고 있다는 것이다.이외에도 2000년도부터 유럽[5]과 일본[6-7]에서 UV-NIL 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다.

나노스탬프의 형상정밀도는 기판에 각인된 최종 구조물의 정밀도에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 나노스탬프 제작기술은 UV-NIL의 핵심 요소 기술이라 말할 수 있다. 본 연구에서는 Cr 층을 하드마스크(hard mask)로 사용한 에칭방법으로 5×5×0.09 in. 나노스탬프를 제작하고, 제작된 나노스

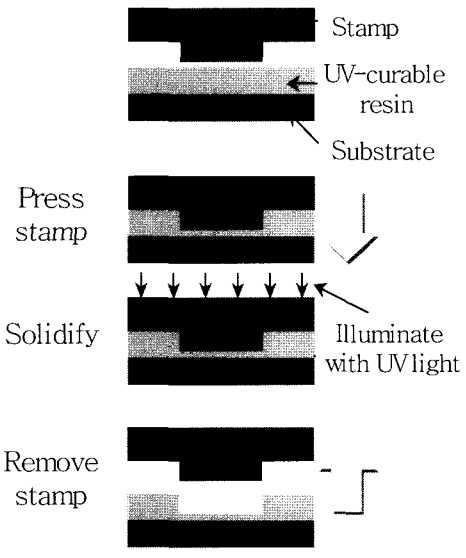


그림 1. UV 나노임프린트 리소그래피 개략도.
Fig. 1. Schematic of the UV-nanoimprint lithography.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2003. 10. 29., 채택확정 : 2004. 5.21.
정준호, 심영석, 신영재 : 한국기계연구원 나노메카니즘그룹
(jhjeong@kimm.re.kr/simsimhe@kimm.re.kr/yjshin@kimm.re.kr)
손현기 : 한국기계연구원 레이저응용시스템그룹(hsohn@kimm.re.kr)
이응숙 : 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부(les648@kimm.re.kr)
※ 본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비지원(M102KN01001)에 의해 수행되었음.

탬프의 SEM 측정 결과를 중심으로 Cr 층을 사용한 나노스탬프 제작기술에 대해 토론한다.

지금까지의 UV-NIL은 웨이퍼 위에 광경화성 레지스트를 공급하는 방식에 따라 스핀코팅(spin-coating) 방식과 디스펜싱(dispensing) 방식으로 나눌 수가 있다. 스핀코팅 방식에서는 스핀코터를 사용해서 웨이퍼 전체 면에 레지스트 박막을 코팅하는 방식으로 single-step 임프린트 방법[7] 과 step & repeat 임프린트 방법에 모두 적용될 수 있다. 한편, 디스펜싱 방식은 디스펜서로 일정량의 레지스트 액적을 웨이퍼 표면에 공급한 후 스탬프로 가압하여 임프린트를 하는 방법[4]으로, 현재소단위 스탬프(일반적으로 1 in. 이하)를 사용하는 step & repeat 방법에만 적용되고 있다.

본 연구에서는 디스펜싱 방식 UV-NIL에서 대면적 스탬프를 효과적으로 사용하기 위하여 다중 디스펜싱 (multi-dispensing) 방법에 의한 UV-NIL을 제안하고 관련실험을 수행하였다. 기존의 소단위 스탬프에서 사용되는 디스펜싱 방식을 대면적 스탬프에 동일하게 적용할 경우, 레지스트가 충전해야 할 박막영역이 넓어짐으로 따라 공정시간이 대폭 증가된다. 본 연구에서는 웨이퍼의 모든 단위영역에 대해 각각 레지스트 액적을디스펜싱을 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 단위영역사이에 레지스트가 없는영역이 존재하게 되는데, 최종적으로 이 부분은 다이싱(dicing) 등으로 제거되고 단위영역만 제품으로 사용된다. 본논문에서 실험 결과를 토대로 제안한 기법의 타당성을 검증한다.

II. 수정 스탬프 제작과정 및 결과

4 in. 웨이퍼에 대한 UV-NIL을 수행하기 위해 UV가 투과하는 포토마스크용 수정 원판을 사용하여 5×5×0.09 in. 나노스탬프를 제작했다. 그림 2는 스탬프의 기본 설계치수를 보여 주고 있다. 가운데 21개의 사각형형상은 UV-NIL로 제작될 제품을 가상적으로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 4 in. 웨이퍼 위에 21개의 13×13 mm 제품에 대한 single-step 방식 UV-NIL 실험을 하기 위해 스탬프를 제작하였으며, 각각의 전 제품영역에 대해 나노 구조물을 제작하지 않고 4개의 모서리와 가운데에 500×500 μm 영역에만 나노 구조물을 설계 제작하였다. 그림 3에 나타난 것과 같이 CADENCE S/W에 의해 설계된 패턴을 구성하는 선의 폭은 100 nm-1 μm이며, 깊이는 200 nm이다.

그림 4는 Cr 층을 하드마스크로 사용한 에칭 방법에 의해 스탬프를 제작하는 과정을 보여주고 있다. E-beam 레지스트와 Cr이 도포된 마스크에 e-beam을 사용해서 패턴을 전사한다. 이어 e-beam 레지스트를 현상(develop)하고 Cr 층을 에칭한 후 잔여 레지스트를 제거하게 된다. 이 단계까지는 기존의 포토마스크 제조방법과 동일하며 수정에 나노구조물을 전사하기 위해서는 Cr을 하드마스크로 사용한 에칭작업과 최종적인 Cr제거작업이 추가된다.

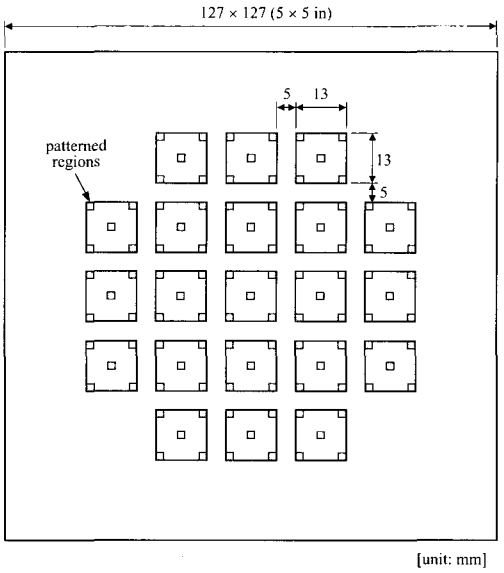


그림 2. 스탬프 형상.
Fig. 2. Stamp geometry.

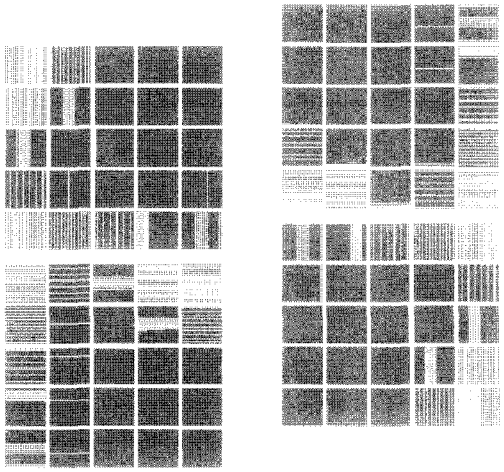


그림 3. 스탬프에 설계된 100-1,000 nm 선폭을 갖는 패턴들.
Fig. 3. The designed patterns on the stamp with 100-1,000 nm line widths.

본 스탬프 제작에 사용된 수정 원판은 일본 HOYA 사의 EHQ 5009 2C ZEP7000이며, 도포된 Cr과 레지스트의 두께는 각각 100 nm 와 400 nm이다.

그림 4(a)에서와 같이 미세 패턴 형성을 위한 e-beam 리소그래피를 수행하기 위하여 HITACHI HL800M 50 keV vector scan e-beam 장비를 사용하였고, dose 양은 25 $\mu C/cm^2$로 고정하였다.

그림 4(b)에서와 같이 패턴을 형성한 후 FAIRCHILD spin spray를 이용하여 레지스트를 현상하고, 패턴에 남아있는 잔여 레지스트 제거와, Cr 에칭에 의한 패턴 형성을 위해 UNAXIS VLR-700 ICP를 사용하였다. 잔여 레지스트 제거 시 사용된 gas는 O_2이며 전체 유량은 30 sccm, 작업진공도는 10 m Torr를 유지하였다. Cr 에칭 시에는 Cl/O_2/He gas를 혼합하여

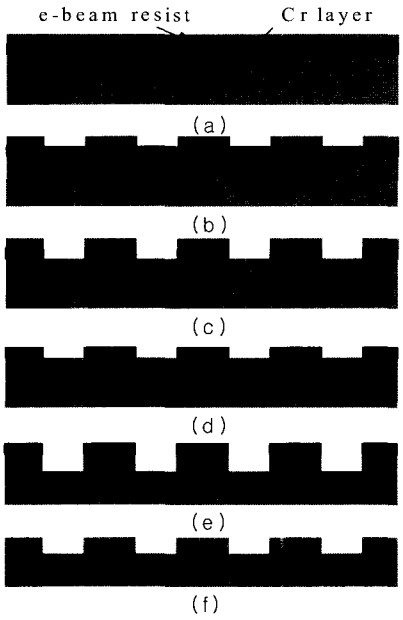


그림 4. 나노스탬프 제작과정의 개략도: (a) 크롬과 레지스트 층을 수정 원판에 코팅함, (b) e-beam 리소그래피로 레지스트 위에 패턴을 형성함, (c) 크롬층을 에칭함, (d) 레지스트를 제거함, (e) 수정판을 에칭함, (f) 크롬 층을 제거함.

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

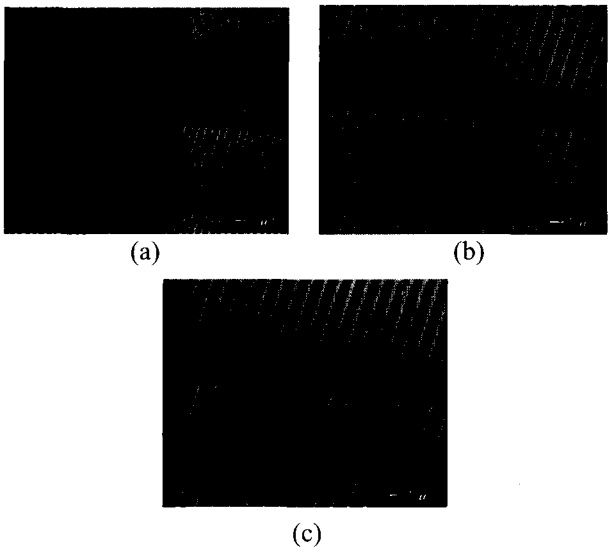


그림 5. (a)100 nm, (b)600 nm, (c)1 μm 크기의 선폭으로 설계된 스탬프 홈들의 SEM 사진들.

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

사용하였으며, 전체 유량은 62 sccm이고, 작업 진공도는 6 m Torr를 유지하였다.

그림 4(c-d)와 같이 Cr 패턴을 형성한 후 SUCCEED wet br ench를 사용하여 레지스트를 strip하고, 그림 4(e)에서와 같은 수정 에칭을 위하여 UNAXIS VLR-700 ICP를 사용하여 200n m 깊이를 갖는 수정 패턴을 형성하였다. 패턴 형성 시 공정 조건은 SF_6/O_2/He gas를 혼합하여 사용하였고, 전체유량은 50 sccm, 작업진공도는 5 mTorr로 진행하였다.

그림 4(f)와 같이 최종적으로 Cr을 제거하고, WACOM wet brench로 세정하여 스탬프를 제작하였다. 2002년 관련 연구 분야의 선두그룹인 미국의Motorola lab과 택사스 주립대학 에서는 CD(critical dimension) 손실을 최소화를 하기 위해 Cr층을 10 nm 두께로 코팅하여 사용하여 20 nm 선폭을 구현한 바가 있다.[8]

그림 5 (a)와 그림 6 (a)에 나타난 바와 같이 본 연구에서 1 00 nm Cr과 400 nm 레지스트로 코팅된 포토마스크용 수정 원판을 사용한 결과, 제작된 최소 선폭은 초기 설계 치수인 100 nm를 상당히 초과한 377 nm로 측정되었다. 이러한 CD 오차는 패턴이 나노크기로 미세해지면서 나타나는 현상으로, 초기에 e-beam 리소그래피 과정을 거쳐 얻은 선폭은 100 nm 였으나, 레지스트를 현상하거나, Cr을 에칭하는 과정에서 패턴이 형성된 주변의 레지스트나 Cr 층들이 과도하게 에칭되었기 때문이다. 그러나, 그림 5와 6에서와 같이 선폭 600 nm 이상에 대해서는 비교적 양호한 치수 정밀도인 2% 이하의 CD 오차를 확인할 수 있었다.

Groove간의 최소간격을 100 nm로 설계한 부분을 측정 결과 그림 7에서와 같이 10% 내외의 CD 오차를 나타내었다.

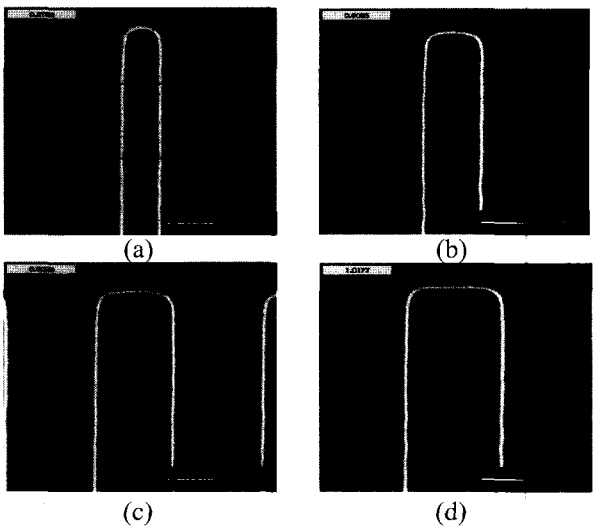
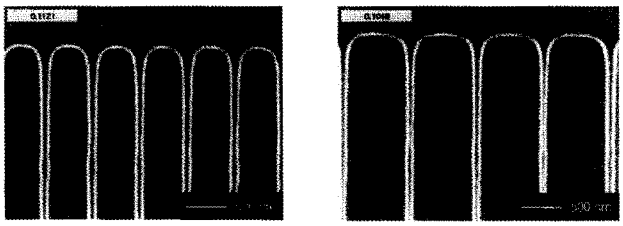


그림 6. (a)100nm, (b)600nm, (c)800nm, (d)1μm 크기의 선폭으로 설계된 스탬프 홈들의 CD 측정 결과들.

Fig. 6. CD measurement results for the grooves of the stamp with the designed widths: (a) 100 nm, (b) 600 nm, (c) 800 nm, and (d) 1 μm.



(a) (b)

그림 7. 스탬프의 홈 간격들에 대한 치수 측정 결과들.
Fig. 7. Dimension measurement results of the groove intervals of stamp.

이 결과는 선폭 100 nm의 groove 제작에 비하여 groove간의 양각 형상 간격을 100 nm로 제작하는 것이 보다 용이했음을 보여주고 있다.

III. 다중 디스펜싱 방식에 의한 UV-NIL 실험 및 결과

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 수정 스탬프에는 점착 방지막(anti-adhesion layer) 처리를 하였다. 점착 방지막 처리를 위하여 사용한 시약과 용매는 Trichloro(1H, 1H, 2H, 2H-perfluorootyl)silane, ethanol, acetone, toluene, H_2SO_4, H_2O_2 이며, 처리 전의 수정 원판에 대한 접촉각은 27°였으나 처리 후에 105°로 증가되었음을 확인할 수 있었다. 앞에서 제시한 접촉각은 물방울의 자유표면이 수정 원판 표면과 접하는 물방울의 자유표면과 원판표면이 만드는 각의 측정치이다.

서론에서 언급한 바와 같이 UV-NIL은 웨이퍼 위에 UV 경화성 레지스트를 공급하는 방식에 따라 스핀코팅 방식과 디스펜싱 방식으로 나눌 수가 있다. 스핀코팅 방식의 UV-NIL에서는 스핀코터(spin-coater)를 사용해서 웨이퍼 위에 레지스트 박막을 코팅하고 스탬프로 가압하여 임프린트하고, 디스펜싱 방식의 UV-NIL에서는 디스펜서(dispenser)로 일정량의 레지스트 액적을 웨이퍼 표면에 공급한 후 스탬프를 가압하여 임프린트한다. 스핀코팅 방식에 의한 UV-NIL을 시도한 Hiroshima등은 진공환경에서 5×5 mm 스탬프를 사용했으며, [7] Otto 등은 step & repeat 방법에 10×10 mm 스탬프를 사용하여 대기압상태에서 임프린트를 수행한 바가 있다.[9] 이와 같이 스핀코팅 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 스핀코팅한 후 5 in. 스탬프를 사용하여 UV-NIL을 수행한 결과 그림 8과 같이 상당히 많은 부분에 공기가 포집되어 있는 것을 발견할 수 있었다.

디스펜싱 방식은 MII사에서 개발한 장비에서 채택하고있는 방식으로 1×1 in. 스탬프를 사용하고 있으며 대기압 환경에서 작업이 가능하다. 그러나 각각의 단위영역에 대해 디스펜싱과 임프린트에 1-2분 정도가 소요되고 4 in. 웨이퍼 기준7번의 반복작업이 필요하기 때문에 각 4 in. 웨이퍼에 대해 10여분의 작업시간이 요구된다.

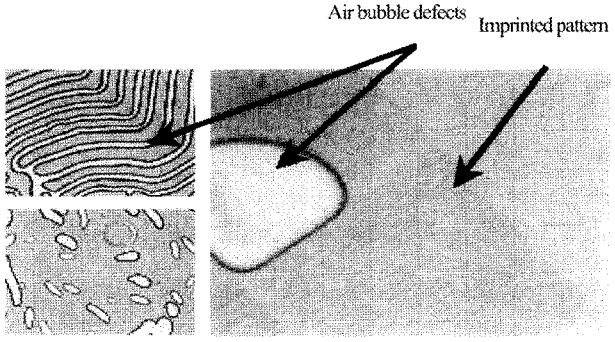
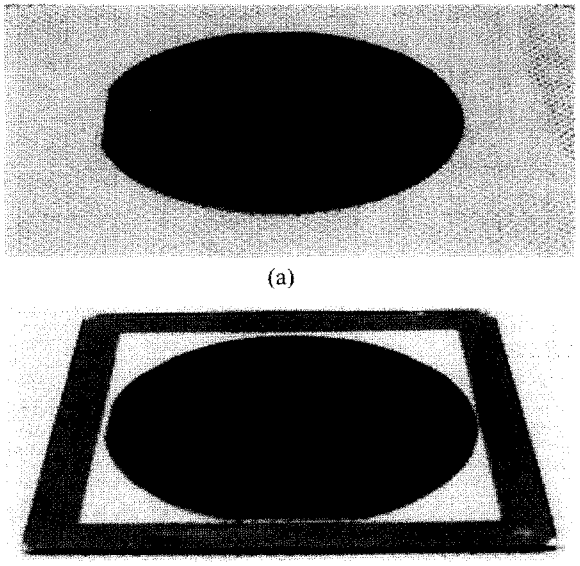


그림 8. 레지스트 안에 포집된 기포들의 광학현미경 사진.
Fig. 8. Optical microscope images of air bubbles entrapped into the resist.



(a) (b)

그림 9. (a) 웨이퍼 위에 도포된 수지 액적들 (b) 수정 스탬프로 가압된 수지 액적들.
Fig. 9. Resin drops (a) multi-dispensed on a wafer and (b) pressed by the quartz stamp.

본 연구에서는 대기압 환경에서 대면적 스탬프를 효과적으로 사용하기 위한 다중 디스펜싱 방법에 의한 UV-NIL을 제안한다. 이 방법에서는 웨이퍼 상의 모든 단위영역에 대해 각각 일정한 양을 디스펜싱하고 대면적 스탬프를 사용해서 single-step UV-NIL을 수행하게 된다. 본 연구에서는 5 in. 스탬프와 4 in. 웨이퍼를 사용한 임프린트 실험을 수행하기 위해서 0.2 μl까지 유량제어가 가능한 피펫(pipette, Vistalab사)을 사용했으며, 각 단위영역 중앙에 디스펜싱을 용이하게 하기 위해 여러 개의 구멍이 가공된 가이드(guide)를 제작했다. 각웨이퍼에 대해서는 세정처리를 디스펜싱 가이드를 제작

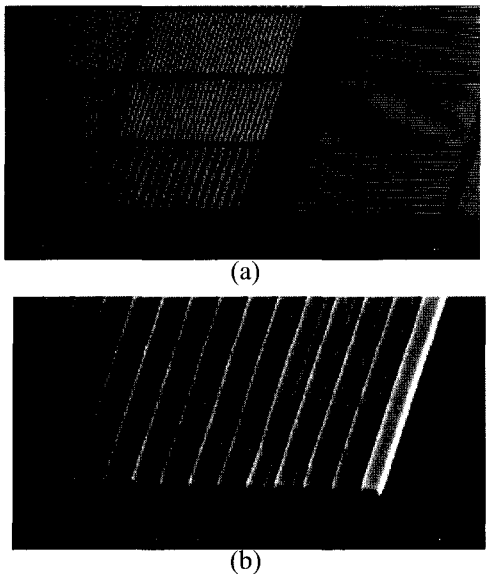


그림 10. (a) 레지스트 위에 임프린트된 패턴의 SEM 사진 (b) 377nm 폭, 200nm 높이, 100nm 간격을 갖는 패턴의 SEM사진.

Fig. 10. 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.

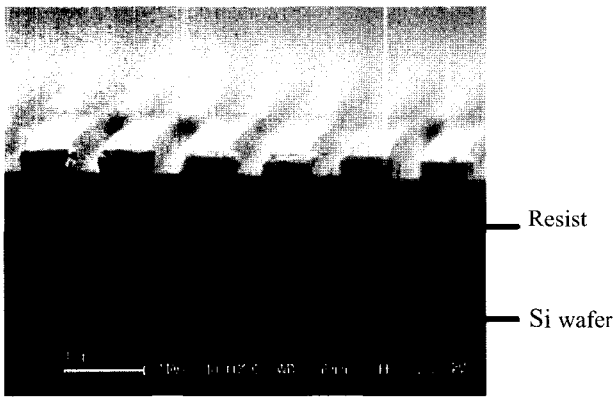


그림 11. 임프린트된 레지스트 단면의 SEM 사진.

Fig. 11. SEM image of the cross-section of the imprinted resist.

하여 사용했으나 수작업에 의해 위치 오차가 발생했고, 사용한 레지스트의 점도가 큰 관계로 0.2 μl로 고정한 디스펜싱 양 또한 다소의 변화가 발생했다. 그림 9(b)는 aligner MA6를 사용해서 가압(pressure = 1 N/cm^2)한 상태에서 UV 노출(exposure time = 60 sec, exposure intensity = 12 mW/cm^2)을 하여 레지스트가 경화된 후 스탬프가 웨이퍼에 부착되어 있는 상태를 보여주고 있다. 스탬프에 의해 눌려 원 형태를 이룬 레지스트의 직경이 차이를 보인 원인은 주로 디스펜싱한 액적 양의 편차 때문으로 판단되며, 다음으로는 스탬프와 웨이퍼 사이의 정렬 오차, 스탬프와 웨이퍼 평탄도가 영향을 주었을 것으로 보인다. 디스펜싱한 액적 양의 편차문제는 초정밀 자동 디스펜서를 사용하면 쉽게 해결될 수 있을 것으로 판단된다. 디스펜싱 양의 편차와 가압력 부족으로 모서리부분이 일부 미 충전된 경우를 제외한 모든 단위영역이 완전 충전 되었음을 확인할 수 있었다. 단위영역 사이에 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.

그림 10은 웨이퍼에 임프린트된 레지스트 패턴을 보여 주고 있다. 스탬프에 각인되어 있는 최소선폭 377 nm, 최소간격 100 nm, 높이 200 nm 의 구조물을 포함해서 1 μm까지 다양한 선폭의 구조물들이 상당히 정밀하게 전사된 것을 볼 수 있다. 그림 11은 임프린트된 선폭 600 nm 간격 400 nm 높이 200 nm 패턴의 단면을 보여 주고 있으며, 잔여 레지스트두께는 1.1 μm로 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 시간을 주기 위함이다. 그림 11에서 구조물의 단면이 직사각형의 형태로 보이지 않은 것은 패턴의 단면이 매끄럽게 절단되지 않았기 때문으로 보인다.

O_2 RIE (reactive ion etching)공정에 의해 임프린트 된 패턴을Si 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 MA6 의가압력(최대 가압력 p =1 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 등[7]은20-200 N/cm^2 의 압력을 가하여 초기 스핀코팅 시 900 nm 두께의 레지스트를 290-480 nm로 임프린트 했음을 보고한바가 있다.

본 연구에서는 아직 O_2 RIE 공정에 적용할 수 있을 만큼의 잔여두께를 얻지는 못했으나, 다중 디스펜싱 방법에 의한 UV-NIL과 최소 선폭 377 nm 구조물을 갖는 5 in. 수정 스탬프를 사용하여 임프린트하는데 성공했다. 또한, 전체 소요공정시간은 2 분이나 UV intensity를 증가시키고 공정조건을 최적화한다면 공정시간을 보다 더 단축시킬 수 있다고 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 UV-NIL용 스탬프를 제작하기 위하여UV 투과성 재질의 수정을 사용하였다. 제작된 최소 선폭은 설계 치수인 100 nm를 3배 이상 초과하는 377 nm로 측정되었으며 이는 레지스트 현상과정 및 과도한 두께(= 100 nm)의 Cr 층에 대한 에칭과정에서 발생하는 CD 오차의 결과라 판단된다. 이러한 현상 및 에칭 공정조건을 최적화한다면 현재 국

내에서도 100-200 nm선폭의 수정 스탬프 제작이 가능하리라 사료된다. 제작한 5 in. 스탬프에 점착 방지막을 처리하여 다중 디스펜싱 방식에 의한 UV-NIL 실험을 수행했으며, 대기압 환경에서 4 in. 웨이퍼에 대해 377 nm-1 μm 선폭의나노구조물을 성공적으로 임프린트할 수 있었다.

향후 계획으로, 본 연구팀은 100 nm 이하 선폭을 갖는 수정 나노 스탬프 제작에 관한 연구를 지속적으로 수행하며, O_2 RIE공정을 위하여 4 in. 웨이퍼 전체에 대해 잔여두께가 500 nm 이하로 균일하게 유지될 수 있는 방안에 대해 연구할계획이다.

참고문헌

[1] S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, "Nanoimprint lithography," J. Vac. Sci. Technol. B vol. 14(6), pp. 4129-4133, 1996.

[2] J. Haisma, M. Verheijen, and , K. Heuvel "Mold-assisted nanolithography: A process for reliable pattern replication," J. Vac. Sci. Technol. B, vol. 14(6), pp. 4124-4128, 1996.

[3] 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, "Step and flash imprint lithography: A new approach to high-resolution pattering," Proc. SPIE, vol. 3676, pp. 379-389, 1999.

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

[5] M. Bender, M. Otto, B. Hadam, B. Spangenberg, and H. Kurz "Multiple imprinting in UV- based nanoimprint lithography related material issues," Microelectronics Eng., vol. 61-62, pp. 407-413, 2002.

[6] J. Taniguchi, T. Kawasaki, Y. Tokano, Y. Kogo, I. Miyamoto, M. Komuro, H. Hiroshima, N. Sakai, and K. Tada, "Measurement of adhesive force between mold and photocurable resin in imprint technology," Jpn. J. Appl. Phys. vol. 41, pp. 4194-4197, 2002.

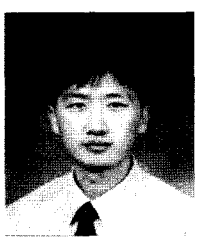
[7] H. Hiroshima, S. Inoue, N. Kasahara, J. Taniguchi, I. Miyamoto, and M. Komuro, "Uniformity in patterns imprinted using photo-curable liquid polymer," Jpn. J. Appl. Phys. vol. 41, pp. 4173-4177, 2002.

[8] T. C. Bailey, D. J. Resnick, D. Mancini, K. J. Nordquist, W. J. Dauksher, E. Ainley, A. Talin, K. Gehoski, J. H. Baker, B. J. Choi, S. Johnson, M. Colburn, M. Meissl, S. V. Sreenivasan, J. G. Ekerdt, and, C. G. Willson, "Template fabrication schemes for step and flash imprint lithography," Microelectronics Eng., vol. 61-62, pp. 461-467, 2002.

[9] H. Otto, M. Bender, B. Hadam, F. Richter, B. Spangenberg, and H. Kurz, "Step and reapeat UV-Nanoimprint Lithography: Material Issues," in the First Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology, San Francisco, CA, December 11-13, 2002.

정 준 호

1968년 2월 4일생. 1990년 한양대학교 정밀기계공학과(공학사). 1993년 한국과학기술원 정밀공학과(공학석사). 1998년 한국과학기술원 기계공학과(공학박사). 1999-2001년 미국 UIUC 기계공학과 postdoc. 2002년-현재 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부 선임연구원. 관심분야 : 나노임프린트 리소그래피, 나노공정, 나노생산.



심 영 석

1974년 9월 3일생. 2001년 동국대학교 반도체과학과 (공학사). 2003년 동대학원 반도체과학과 (공학석사). 2003년-현재 한국기계연구원 위촉연구원. 관심분야 : 반도체 나노구조의 특성분석및 응용.

손 현 기

1970년 1월 5일생. 1993년 한국과학기술원 정밀공학과(공학사). 1996년 동대학원 기계공학과 (공학석사). 2003년 동대학원 기계공학과(공학박사). 2003년-현재 한국기계연구원 첨단산업기술연구부 선임연구원. 관심분야 : 금속 쾌속조형공정, 나노임프린트 리소그래피.

신 영 재

1961년 12월 30일생. 부산대학교 기계공학과(학사). 1987년 한국과학 기술원 생각공학과(석사). 1987.3-현재 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부 선임연구원. 관심분야: 초정밀 가공, 나노가공.

이 응 숙

1958년 2월 27일생. 1980년 서울대학교 기계설계학과(학사). 1982년 서울대학교 기계설계학과(석사). 1997년 한국과학기술원 기계공학과(박사). 1998-1999년 UC Berkeley postdoc. 1982년-현재 한국기계연구원. 지능형정밀기계연구부 책임연구원(기계기술사). 관심분야: 초정밀가공, 나노가공.