

나노임프린트 공정에서 실란커플링제 기상증착을 이용한 표면처리 효과

이동일 · 김기돈 · 정준호 · 이응숙 · 최대근[†]

한국기계연구원 나노공정장비연구센터
305-343 대전시 유성구 장동 171
(2006년 7월 19일 접수, 2006년 9월 25일 채택)

The Surface Treatment Effect for Nanoimprint Lithography using Vapor Deposition of Silane Coupling Agent

Dong-Il Lee, Ki-Don kim, Jun-Ho Jeong, Eung-Sug Lee and Dae-Geun Choi[†]

Nano-Mechanical Systems Research Center, Korea Institute of Machinery & Materials, 171, Jang-dong Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea
(Received 19 July 2006; accepted 25 September 2006)

요 약

나노임프린트 공정기술은 나노구조물이 패터닝된 스탬프(혹은 몰드)를 이용하여 적절한 기판 위에 나노구조물을 복제하여 패턴을 전사하는 기술이다. 효과적인 나노임프린트 공정을 위해서는 몰드의 이형처리뿐 아니라 반대쪽의 기질과 레지스트 사이에 접착력 증가(adhesion promoter) 처리가 매우 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 자기조립 실란커플링제의 기상증착을 이용하여 나노임프린트 공정에서 사용되는 접착 증가막 및 표면처리 방법을 비교 분석 하였다. 이를 위해서 평탄화층(DUV-30J), 산소 플라즈마 처리, 실란커플링제 자기조립막이 비교되었다. 실란커플링제 자기조립막이 형성된 실리콘 표면은 전체적으로 나노 두께의 균일한 막이 형성되며 임프린트시 구조물들을 정밀하게 전사하였으며 3-acryloxypropyl methyl dichlorosilane(APMDS)을 이용한 자기조립막(SAMs) 처리가 평탄화층과 산소 플라즈마 처리보다 강한 접착력을 가지고 있어 나노임프린트 공정에 적합함을 알 수 있었다.

Abstract – Nanoimprint lithography (NIL) is useful technique because of its low cost and high throughput capability for the fabrication of sub-micrometer patterns which has potential applications in micro-optics, magnetic memory devices, bio sensors, and photonic crystals. Usually, a chemical surface treatment of the stamp is needed to ensure a clean release after imprinting and to protect the expensive original master against contamination. Meanwhile, adhesion promoter between resin and substrate is also important in the nanoscale pattern. In this work, we have investigated the effect of surface treatment using silane coupling agent as release layer and adhesion promoter for UV-Nanoimprint lithography. Uniform SAM (self-assembled monolayer) could be fabricated by vapor deposition method. Vapor phase process eliminates the use of organic solvents and greatly simplifies the handling of the sample. It was also proven that 3-acryloxypropyl methyl dichlorosilane (APMDS) could strongly improve the adhesion force between resin and substrate compared with common planarization layer such as DUV-30J or oxygen plasma treatment.

Key words: Nanoimprint, Silane Coupling Agent, Adhesion Promoter

1. 서 론

나노기술의 발전과 함께 차세대 반도체 식각 공정으로 나노임프린트(nanoimprint lithography; NIL) 공정기술이 학계 및 산업계 연구자들로부터 많은 관심을 받고 있다. 나노임프린트 공정기술은[1] 나노구조물이 패터닝된 스탬프(혹은 몰드)를 이용하여 적절한 기판 위에 나노구조물을 복제하여 패턴을 전사하는 기술이다. 나노임프린트 공정은 1995년 프린스턴 대학의 Chou 교수[1,2]가 최초로 제안하였으며, 자외선 경화 나노임프린트(UV-NIL) 공정은 1996년

Haisma 등에[3] 의하여 최초로 제안되었다. 나노임프린트 공정은 크게 보면 두가지 방식으로 나눌 수 있는데, 하나는 열을 이용하는 thermal NIL(or hot embossing) 방식과 자외선을 이용하는 UV-NIL 방식으로 분류될 수 있다. Thermal NIL은 자외선 방식에 비해서 스탬프 재료가 투명하지 않아도 되기 때문에 스탬프 선정이 쉽고 사용될 수 있는 레진 및 공정이 비교적 많다는 장점이 있다. 반대로, 자외선 방식은 열경화 방식에 비해 저압에서 공정이 이루어지기 때문에 부러지기 쉬운 재질 위에 패터닝 공정시에 유리하며 다층화 공정이 비교적 용이하다는 장점이 있다. 또한, 온도 상승 및 냉각 시간이 필요하지 않기 때문에 작업 시간 단축 및 생산량이 높다는 장점을 가지고 있다[4].

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: lamcdg@kimm.re.kr

중래의 패턴 복제를 위한 마스터 및 스템프 재료로서 주로 강도가 강한 석영(quartz), 규소화합물(silicon (Si) or silicon dioxide(SiO₂), 반도체 화합물(GaAs) 및 금속 니켈 등이 주로 사용 되어져 왔다. 그러나 이들 재료는 표면에너지가 높아서 특별한 표면 처리없이 사용하면 레진 및 불순물에 의한 오염현상이 빈번히 발생한다. 따라서, 패턴 전사시에 스템프의 오염 방지를 위해서 이형층(release layer) 처리가 반드시 필요로 한다. 이형처리는 주로 스템프 표면을 표면 처리하여 표면에너지를 낮추어 접착을 감소시키는 방법을 사용한다. 일반적으로 자기조립단분자막(self assembled monolayers, SAMs)은 수 나노 두께의 얇은 박막으로 표면에너지를 쉽게 조절할 수 있다는 장점을 가지고 있기 때문에 스템프 표면에 불소(F)를 포함하는 자기조립단분자막 막을 증착하여 접착현상을 줄이는 연구가 많이 진행 되어왔다[4-7]. 자기조립막을 형성하는 이런 실란-자기조립막을 흔히 실란커플링제(silane coupling agent)라 하며 이미 무기 솔-젤(sol-gel) 화학에서 접착력 증가, 표면 기계적 성질 증가, 분산안정제, 촉매 고정화 및 바이오 물질의 표면 고정화 등 다양한 용도로 사용 되어 왔다. 가장 기본적인 구조는 Fig. 1에서와 같이 가수분해할 수 있는 X 기와 긴 알킬 사슬로 된 링커(linker) 및 기능성 유기 그룹인 R로 이루어져 있으며 X 부분은 주로 표면과 반응하는 부분이고 물에 의해 가수분해 되어 수산기(-OH)로 된 뒤 실리카 입자와 같은 무기질 표면의 -OH 기와 수소결합을 형성하며 R 그룹은 다음 반응을 위한 기능성을 부여할 수 있다. X 기의 숫자에 따라서 X가 세 개 일 때는(X₃) 트리알콕시실란(trialkoxysilane)이 되고 X가 하나 일 때는 모노알콕시실란(monoalkoxysilane)이라 한다. 또한, R 기에 따라서 친수성, 소수성, 바이오 친화성 등 여러 가지 성질을 부여 할 수 있다.

한편, 효과적인 나노임프린트 공정을 위해서는 몰드의 이형처리 뿐 아니라 반대쪽의 기질 위에서 기질과 레지스트 사이에 접착력 증가(adhesion promoter) 처리가 매우 중요한 역할을 한다(Fig. 2). 이럴 경우 몰드의 표면처리와는 반대로 접착력 증가 처리가 필요하다. 지금까지 레지스트와 친화력이 있는 수 십 나노 두께의 고분자 및 유기물이 많이 사용되어져 왔으나 잔류층 두께 최소화 및 접착력 증가를 위해서 기능성 관능기를 가지는 SAMs이 관심을 받고 있다. 기존의 나노임프린트 공정의 접착 증가막으로 평탄화층(planarization)이 많이 사용되었다. 평탄화층은 수 십 나노미터의 두께를 형성하고 있어 나노임프린트 후에 패턴 전사를 위해 반응성 이온 식각(RIE) 등의 건식 식각을 하는 과정에서 잔류층으로 작용해 식각 시간 증가 및 식각의 정확도를 떨어뜨리는 영향을 준다[6-9]. 자기 조립막은 수 나노의 얇은 층을 형성하며 접착력을 증가시켜주고 반응성 이온 식각 등의 건식 식각을 하는 과정에서 아무런 영향

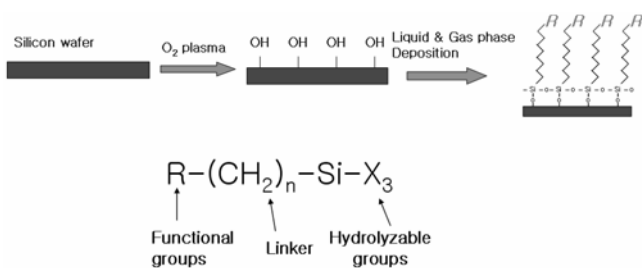


Fig. 1. The basic structure of silane coupling agent and an illustration of gas phase deposition of silane SAM.

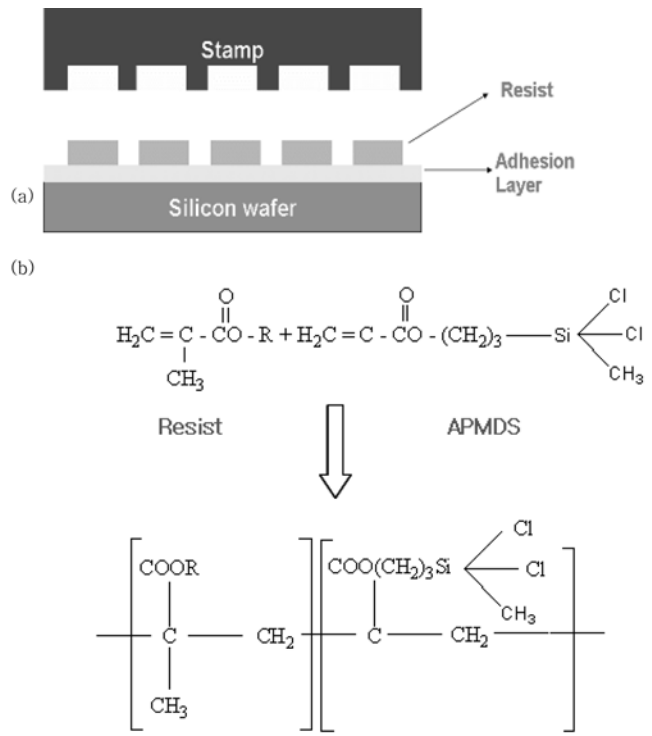


Fig. 2. (a) Schematic of major components in nanoimprint lithography (b) Reaction mechanism of resist and APMS as adhesion layer.

을 주지 않아 식각 시간을 단축시키며 식각의 정확도를 높일 수 있다. 특히, 패턴 크기가 점점 작아짐에 따라, 스템프 표면과 레지스트와의 표면적의 증가로 접착력이 증가하여 패턴전사가 제대로 이루어지지 않는 문제가 더 심각하게 된다[10].

본 연구에서는 자기조립 실란커플링제의 기상증착을 이용하여 나노임프린트 공정에서 사용되는 접착 증가막 및 표면처리 방법을 비교 분석하였다. 이를 위해서 평탄화층(DUV-30J), 산소플라즈마 처리, 실란커플링제 단분자막이 비교되었다. 일반적으로 기상법을 이용한 증착은 유기용매를 사용하는 액상증착에 비해서 실험이 간단하고, 나노스템프 사이로 침투가 용이한 장점이 있어 나노임프린트 공정의 표면 처리에 적합하다.

2. 실험

2-1. 스템프 이형처리(release layer) 사용된 스템프의 재질은 석영(quartz)이다. 이형처리를 위해서 스템프를 황산-과산화수소(3:1 vol ratio) 용액에 한 시간 세정 한 후 산소플라즈마 처리하였다. 이형제로 Trichloro-(1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl) silane(FOTS)과 Dichlorodimethylsilane(DDMS)이 사용되었다. 이형을 위해 사용된 기상증착장비는 Fig. 3과 같다. 플라즈마 세정, 화학기상증착, 열처리 장치를 하나의 일체형으로 제작해서 하나의 챔버안에서 모든 공정이 가능하도록 제작하였다.

2-2. 접착 증가막 처리(adhesion promoter) 실리콘 웨이퍼를 황산-과산화수소(piranha solution)에 1~2시간 정도 담구어 실리콘 웨이퍼 표면을 세정 하였고 초순수 정수물(DI water)과 IPA Dryer로 깨끗하게 세정하여 상온에서 2시간 동안 건조



Fig. 3. Automatic Vapor SAM coater for release layer.

(drying) 시켰다. 기상법의 SAMs 처리 방법은 질소(N₂)가스를 주입시켜 챔버(chamber)내의 공기를 제거한 후, SAMs 처리 용액을 100 μl 주입시켜 챔버내에서 증발(evaporation)시켜 실리콘 웨이퍼에 SAMs 용액을 증착시켰다. SAMs 용액은 접착력 증가를 위해서 3-acryloxypropyl methyl dichlorosilane(APMDS)을 사용하였다. SAMs 처리 후 잔여물질을 제거하기 위해 acetone, IPA, DI water, IPA dryer 순서대로 세정하여 상온에서 건조시켰다. 실란 커플링 접착막의 비교대상으로 평탄화층(DUV-30J, Brewscience) 및 산소 플라즈마 처리된 표면이 비교되었다.

2-3. 나노임프린트 실험

본 연구에서 임프린트에 사용되는 석영(quartz) 스템프를 제조하기 위하여 전자빔 리소그래피(HITACHI)가 사용되었다. 크롬(Cr) 패턴 형성 후 패턴에 남아있는 잔여 레지스트 제거와 크롬 에칭에 의한 패턴 형성을 위해 ICP(inductive coupled plasma)를 사용하였다. 크롬 패턴을 형성한 후에 습식에칭을 사용하여 레지스트를 현상하고 ICP를 사용하여 200 nm 깊이를 갖는 석영 패턴을 형성하였다. 최종적으로 크롬을 제거하고 세정하여 스템프를 제작하였다. 이렇게 제작된 스템프에 Trichloro-(1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl) silane 으로 이형처리 하여 접착막이 형성되어 있는 실리콘 웨이퍼에 EVG 620-NIL 장비를 이용하여 임프린트 실험을 수행하였다. 스템프 위에 UV 경화성 레지스트를 디스펜싱(dispensing) 방식으로 일정량의 레지스트 액적을 공급한 후 접착막이 형성된 실리콘 웨이퍼와 가압하여 나노 임프린트 공정을 수행하였다. 나노 임프린트 공정 압력은 125 mbar, 가압 시간은 120 s, 노광 시간(exposure time) 180 s, 노광 세기(exposure intensity) 12 mW/cm²의 조건으로 자외선으로 경화하였다.

2-4. PDMS를 이용한 복제

Sylgard A와 B를 10:1의 비율로 섞은 후 나노임프린트를 한 실리콘 웨이퍼 위에 균일하게 도포한 후 60 °C에서 2시간 동안 경화시켜 PDMS(poly(dimethylsiloxane)) 몰드를 만들었다.

2-5. 특성 측정 장비

자기조립막이 형성된 실리콘 웨이퍼의 표면을 AFM(atomic force microscope)을 통하여 표면 현상과 거칠기를 측정하였다. 측정 방법은 tapping mode로 digital instruments(DI, USA)사의 AFM 장치를 이용하여 측정하였다. 자기조립막이 형성된 웨이퍼를 사용하여 나노임프린트 한 후, 표면과 단면은 SEM(scanning electron microscope, FEI)을 통하여 측정하였다. 광전자 분광 장치 XPS(X-ray/ultraviolet photoelectron spectroscopy, KRATOS)를 통하여 전자의 결합 에너지 및 화학적 결합 형태를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 점착방지막(release layer)

나노임프린트 공정시 스템프의 표면에너지 낮추어서 레진에 의한 오염을 줄이는 이형처리는 매우 중요한 공정이다. 대표적인 점착 방지막으로 불소를 포함하는 실란-커플링제의 일종인 Trichloro-(1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl) silane (FOTS)이 주로 사용되어져 왔으며, 증착법으로 랑뮤어-블라젯(LB) 및 딥코팅(dip-coating)을 이용한 액상법이 주로 많이 사용되어져 왔다. 하지만, 액상법에서 주로 사용되는 톨루엔(toluene), 헥센(hexane) 등의 소수성 유기용매가 친수성 스템프의 모서리 부분이나 나노급 패턴내부(특히, 100 nm 이하)의 빈 공간에 침투를 잘 하지 못해서 나노패턴 내부의 점착방지막 특성이 좋지 못하다는 단점을 가지고 있다. 또한, 이들 용매로 인한 유해물질 및 환경오염물질의 배출량이 많다는 단점이 있다. 본 연구에서는 Silane SAMs들의 반응성이 좋아 표면 반응 이외의 자기들끼리 중합(polymerization)하여 젤 혹은 입자를 형성하는 단점을 가지고 있는 액상법의 단점을 보완하고자 유기 용매가 필요 없는 기상법을 이용해 실리콘 웨이퍼 및 스템프에 자기조립막을 형성하였다[11-13].

Fig. 4에 이형처리를 한 실리콘 표면의 접촉각 결과를 나타내었다. 표면처리 되지 않은 실리콘 표면은 접촉각이 40° 내외로 약 40-50 dyne/cm 사이의 표면에너지를 갖는 것이 일반적이다(Fig. 4a). 여기에서 실란 SAM을 증착하기 전에 표면활성화를 위해서 산소플라즈마 처리를 약 1분 이상 해주면 표면은 친수성이 되어서 물이 완전히 젖게 된다(Fig. 4b). 이때 표면에너지는 약 80-90 dyne/cm 이 된다. 메틸기(-CH₃)와 불화카본기(-CF₃)가 말단기인 DDMS와

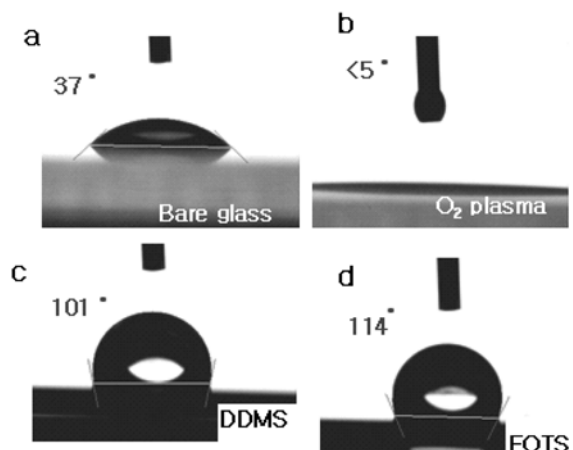


Fig. 4. Water contact angle on the different surface.

FOTS 처리의 경우 접촉각이 100° 이상 되면서 소수성 표면이 되고 표면에너지는 20 dyne/cm 이하로 떨어져서 효과적인 이형제로 사용 가능함을 알 수 있다(Fig. 4c, 4d). 일반적으로 불화카본기가 더 높은 접촉각을 나타냄을 알 수 있고 접촉각은 막의 균질성과 표면의 균일도에 영향을 받으며 FOTS의 경우 이상적인 최대 접촉각은 약 120° 근처로 알려져 있다. 체인이 짧은 DDMS 사용의 이유는 일반적인 Trichloro silane에 비해서 표면과 반응할 수 있는 반응 작용기가 2개여서 상대적으로 젤-형성 위험이 적다고 보고되기 때문이다. 스템프 표면처리 후 이형 테스트에서는 두 물질간의 큰 차이 없이 모두 효과적인 이형특성을 나타내었다.

3.2. 접착력 증가

나노임프린트 공정에서는 레진과 표면과의 접착력을 증가시키기 위해서 위의 평탄화층(약 50 nm)을 많이 사용해 왔다. 이러한 평탄화층은 접착력 증가뿐 아니라 레진의 두께 균일도 개선 면에서 유용하게 사용되어져 왔다. 하지만 한 가지 문제점은 임프린트 된 패턴을 이용하여 패턴전사를 하거나 실리콘 및 그 아래의 기능성 기판을 에칭할 때 이러한 층이 결과적으로 잔류층(residual layer)으로 작용해 패턴의 에칭시간 및 정확도를 떨어뜨린다는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하고자 Fig. 2와 같이 SAMs 용액을 이용하여 수 nm의 얇은 접착층(adhesion layer)을 형성하였다. 먼저 각각의 접착력 증가층을 이용하여 나노임프린트를 수행하였다. 비

교대상으로 평탄화층(DUV 30J), 산소플라즈마, 실란커플링제인 APMDs가 비교되었다.

일반적으로 나노임프린트시에 스템프 표면이형처리를 하고 기판 처리를 하지 않으면 효과적인 임프린트가 힘들다. 특히, 레진과 기판과의 접착이 좋지 않을 경우는 스템프쪽에 레진의 오염 현상이 더 심하게 일어난다. 본고의 비교대상인 표면처리방법으로 임프린트 실험을 수행한 결과 모든 경우에서 스템프 오염없이 패턴이 잘 전사되었다. 그 이유는, 평탄화층을 포함한 모든 경우에서 이형처리된 스템프쪽 보다는 접착증가막이 처리된 표면과 레진이 더 강하게 접착하기 때문이다. 레진과 표면과의 젖음성을 알아보기 위해 레진과 표면과의 접촉각 측정 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 볼수 있듯이 스템프쪽에 해당하는 FOTS 표면에서 레진의 접촉각은 75° 로 매우 높지만 나머지 접착증가막 표면위에서 레진은 모두 젖음(wetting)이 잘되는 것을 알 수 있다. 특히, APMDs는 말단기에 아크릴기를 포함하고 있어 실험에 사용된 아크릴레이트 성분의 레진과 공유결합을 할 수 있다는 장점이 있다. APMDs와 같은 실란커플링제는 접착하기 어려운 유기물과 무기물의 결합력을 증가시켜주는 역할을 하며 이는 스템프의 소수성 성질과 상반되어 나노임프린트시 스템프의 오염을 방지하는 역할을 한다.

Fig. 6은 15 min 동안 다양한 반응 온도에 따른 자기조립막 증착 후 표면 현상과 거칠기를 AFM으로 측정한 그림이다. 그림에서 보듯이 전체적으로 자기조립막이 형성된 실리콘 웨이퍼의 표면 거칠기가 수 nm 단위의 경면을 유지하여 나노임프린트 공정에 적용 가능한 공정임을 보여주고 있었으며, 반응 온도 80°C 일 때 표면 거칠기가 0.254 nm 로 가장 적게 나타나며 전체적으로 자기조립막이 얇게 형성되어 나노임프린트 공정에 적용 가능하게 자기조립막층이 형성되었다.

Fig. 7은 서로 다른 반응 온도에서 APMDs로 실리콘 웨이퍼 위에 자기조립막 증착 후 광전자 분광 장치(XPS)를 통하여 전자의 결합에너지와 화학적 결합 형태를 알아보았다. Si와 oxide는 각각의 반응온도에서 큰 변화를 보이지 않지만 carbon은 반응 온도에 따라 결합 에너지(binding energy)가 증가함을 알 수 있었다. Si는 실리콘 웨이퍼를 나타내며 oxide는 자기조립막을 형성하기 위한 전처리 과정인 SPM 방식의 cleaning을 통해 표면에 oxide가 형성되어 반응 온도와 상관없이 일정한 결합 에너지를 가지고 있었다. 반면 carbon은 반응온도가 높아지면서 증가함을 알 수 있었다. 이는 반응온도가 증가하면서 실리콘 웨이퍼 위에 자기조립막의 증착량이 많아졌

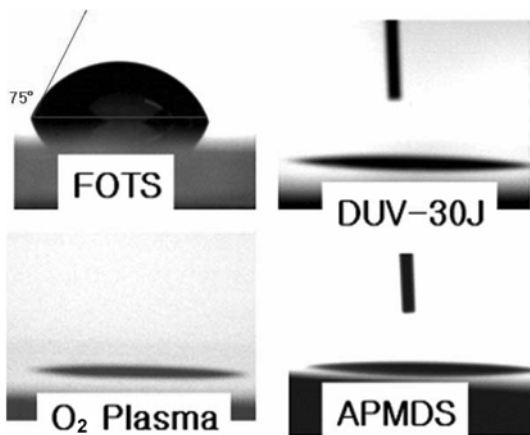


Fig. 5. Contact angle of resin on the different surface treatment.

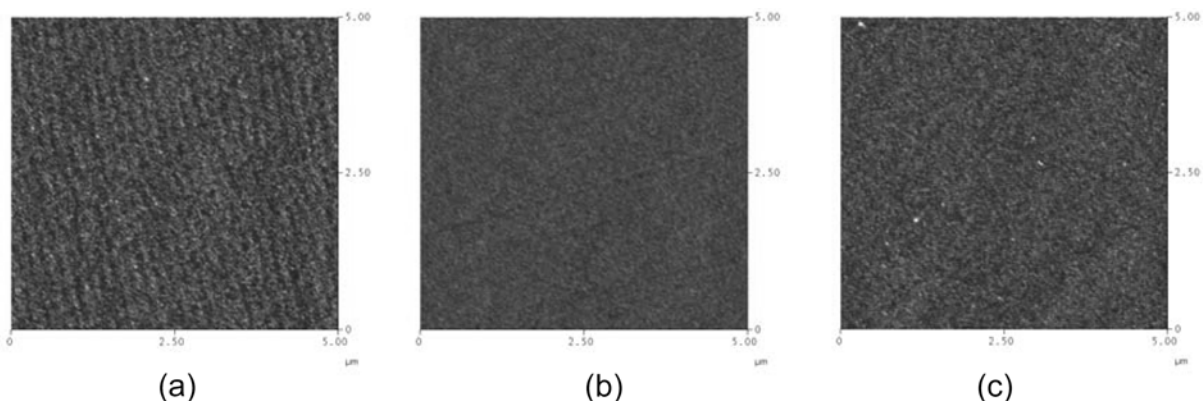


Fig. 6. AFM images of the silicon wafer surface after APMDs vapor deposition at different reaction temperature. (a) 60°C , (b) 80°C , (c) 100°C .

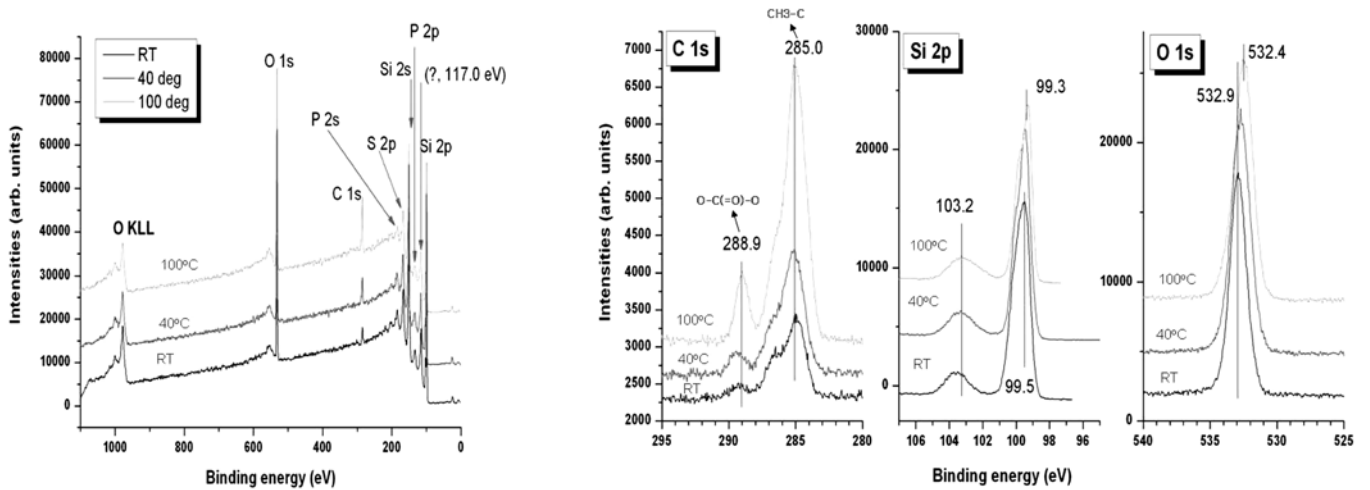


Fig. 7. XPS data at the different reaction temperature of APMSD.

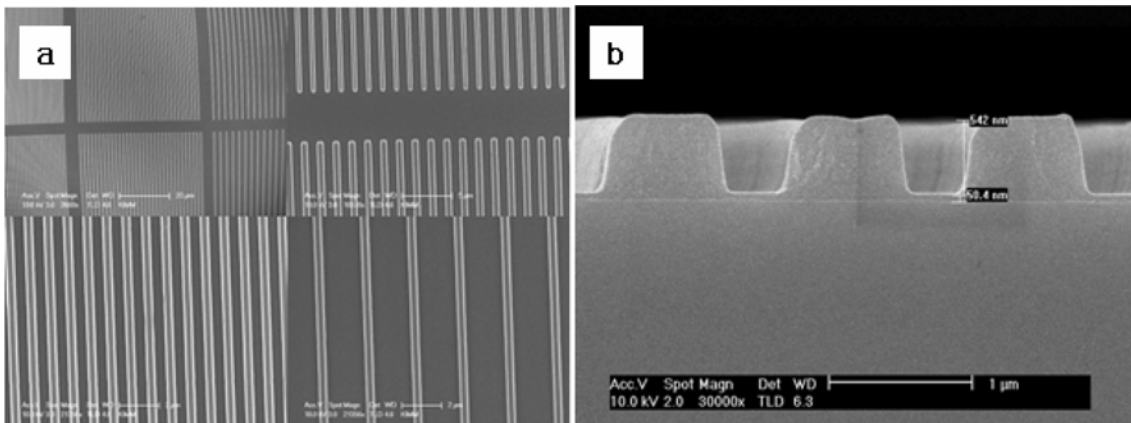


Fig. 8. SEM images of various patterns made by nanoimprint lithography (NIL) using APMSD SAM as adhesion layer. (a) Planar SEM images of imprinted patterns (b) Cross-sectional SEM image of imprinted pattern.

기 때문이다. 일반적으로, 실란커플링제가 단분자막 이하의 두께에서는 증착량이 증가할수록 유리하나, 본 실험에서처럼 단분자막 이상의 증착상태에서 세척을 통해서 불필요한 증착막을 제거할 경우는 초기 증착량이 작을수록 유리하다. 자기조립막이 형성된 실리콘 웨이퍼는 SAMs 용액과 실리콘 웨이퍼의 oxide가 결합하여 285.0 eV에서 CH₃-C의 결합 형태를 나타내었으며, 288.9 eV에는 O-C(=O)-O의 결합 형태를 나타내었다. 반응온도가 높을수록 표면 탄소의 -C=O-의 결합에너지가 증가하여 표면과 강한 결합을 형성함을 알 수 있다. 따라서, 저온 반응의 경우 표면의 강한 결합을 위해서 후 열처리 공정을 해주는 것이 바람직하다.

Fig. 8은 APMSD로 실리콘 웨이퍼 위에 자기조립막을 증착하여 나노임프린트를 수행한 결과이다. Fig. 8a는 선폭이 sub-micron 급의 다양한 평면 SEM 이미지 결과이며 Fig. 8b는 임프린트된 패턴의 단면 SEM 결과를 나타내었다. Fig. 8b에서 보듯이 약 50 nm의 잔류층 이외에는 추가적인 잔류층이 없다는 것이 장점이다. 평탄화층의 경우는 평탄화층 구께만큼 잔류층이 증가하는 단점이 있다. 그림에서 보듯이 APMSD로 자기조립막이 형성된 실리콘 웨이퍼는 임프린트시 구조물들을 정밀하게 전사하였으며 APMSD 기상증착막이 효과적인 접착력(adhesion) 증가막으로 사용가능함을 알 수 있었다.

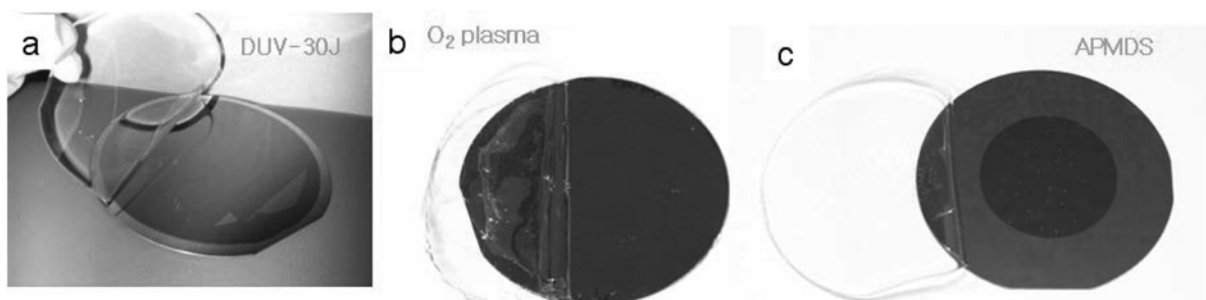


Fig. 9. Photographs of adhesion test using PDMS replication method.

Fig 9는 실리콘 웨이퍼 위에 접착력을 가지고 있는 서로 다른 물질로 처리하여 나노임프린트 한 후 복제 재료인 PDMS(poly(dimethylsiloxane))를 이용하여 접착력을 비교 검사한 결과이다. 그림에서 보듯이 평탄화층과 산소 플라즈마로 처리하여 나노임프린트 및 복제 실험을 한 경우, 임프린트 패턴은 성공적으로 수행되었으나 PDMS 복제시 접착력이 약해 임프린트 된 패턴이 PDMS쪽으로 떨어져 나가서 효과적인 복제가 이루어 질 수 없다. APMSD 자기조립막(SAMs)을 이용하여 임프린트 패턴 복제 실험을 한 경우, 레진은 표면의 APMSD와 아크릴레이트 공유결합 반응기를 포함하고 있어 접착력이 훨씬 강해 패턴의 손실없이 PDMS 복제를 성공적으로 수행할 수 있었다. 즉, APMSD 자기조립막(SAMs) 처리가 평탄화층과 산소 플라즈마 처리보다 강한 접착력을 가지고 있어 나노임프린트 패턴의 PDMS 복제시에 적합한 물질임을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 기상방법에 의해 증착된 실란 커플링제 자기조립막을 이용하여 나노임프린트용 표면처리에 대한 영향을 알아보았다. 기상방법에 의한 스템프의 이형처리가 이루어졌고 접착증가막인 APMSD를 이용하여 자기조립막(SAMs) 형성 및 특성에 관한 연구를 진행하였다. APMSD의 접착력과 복제 성능은 평탄화층과 산소 플라즈마 방법과 비교 테스트 되었다.

(1) 일반적으로 알려진 불소 함유 FOTS 실란 커플링제 뿐만 아니라 메틸기로 이루어진 DDMS의 경우도 이형특성이 뛰어나 효과적인 이형제로 사용가능함을 알 수 있었다.

(2) APMSD로 자기조립막을 형성한 후, 레진에 대한 접촉각을 측정한 결과 젖음성이 좋으며 이는 스템프의 소수성 성질과 상반되어 나노 임프린트시 스템프의 오염을 방지할 수 있었다.

(3) 반응 온도가 증가할수록 자기조립막 표면 carbon의 결합에너지는 증가함을 알 수 있었다. SAMs 용액과 실리콘 웨이퍼의 oxide가 결합하여 285.0 eV에서 $\text{CH}_3\text{-C}$ 의 결합 형태를 나타내었으며, 288.9 eV에는 O-C(=O)-O 의 결합 형태를 나타내었다.

(4) APMSD로 자기조립막이 형성된 실리콘 웨이퍼의 표면거칠기가 수 nm 단위의 경면을 유지하여 나노임프린트에 적용 가능한 공정임을 알 수 있었다.

(5) APMSD를 이용한 자기조립막(SAMs) 처리가 평탄화층과 산소 플라즈마 처리보다 강한 접착력을 가지고 있어 나노임프린트 및 PDMS 복제에 적합함을 알 수 있었다.

감 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구 개발 사업인 나노 메카트로닉스 기술 개발사업단의 연구비 지원(M102KN010001)을 받아 수행하였습니다.

참고문헌

1. Chou, S. Y., Krauss, P. R. and Renstrom, P. J., "Imprint Lithography with 25-nanometer Resolution," *Science*, **272**(5258), 85-87

- (1996).
2. Chou, S. Y., Krauss, P. R. and Renstrom, P. J., "Nanoimprint Lithography," *J. Vac. Sci. Tech. B.*, **14**(6), 4129-4133(1996).
 3. Haisma, J., Verheijen, M. and Heuvel, K., "Mold-Assisted Nanolithography: A Process for Reliable Pattern Replication," *J. Vac. Sci. Tech. B.*, **14**(6), 4124-4128(1996).
 4. Resnick, D. J., Sreenivasan, S. V. and Willson, C. G., "Step & Flash Imprint Lithography," *Materialstoday*, **8**(2), 34-42(2005).
 5. Austin, M. D., Ge, H., Wu, W., Li, M., Yu, Z., Wasserman, D., Lyon, S. A. and Chou, S. Y., "Fabrication of 5 nm Line Width and 14nm Pitch Features by Nanoimprint Lithography," *Appl. Phys. Lett.*, **84**(26), 5299-5301(2006).
 6. Jeong, J. H., Sim, Y. S., Sohn, H. K. and Lee, E. S., "UV-nanoimprint Lithography Using an Elementwise Patterned Stamp," *Microelectron. Eng.*, **75**(2), 165-171(2004).
 7. Choi, D. G., Jeong, J. H., Sim, Y. S., Lee, E. S., Kim, W. S. and Bea, B. S., "Fluorinated Organic-inorganic Hybrid Mold as a New Stamp for Nanoimprint and Soft Lithography," *Langmuir*, **21**(21), 9390-9392(2005).
 8. Bailey, T., Choi, B. J., Colburn, M., Meissl, M., Shaya, S., Ekerdt, J. G., Sreenivasan, S. V. and Willson, C. G., "Step and Flash Imprint Lithography: Template Surface Treatment and Defect Analysis," *J. Vac. Sci. Tech. B.*, **18**(6), 3572-3577(2000).
 9. Ruchhoeft, P., Colburn, M., Choi, B., Nounu, H., Johnson, S., Bailey, T., Damle, S. and Willson, C. G., "Patterning Curved Surfaces: Template Generation by Ion Beam Proximity Lithography and Relief Transfer by Step and Flash Imprint Lithography," *J. Vac. Sci. Tech. B.*, **17**(6), 2965-2969(1999).
 10. Colburn, M., Johnson, S., Stewart, M., Damle, S., Bailey, T., Choi, B., Wedlake, M., Michealsom, T., Sreenivasan, S. V., Ekerdt, J. and Willson, C. G., "Step and Flash Imprint Lithography: A New Approach to High-resolution Patterning," *Proc. SPIE.*, **3676**(1), 379-389(1999).
 11. Jung, G. Y., Li, Z., Wu, W., Ganapathiappan, S., Li, X., Olynick, L. D., Wang, S. Y., Tong, W. M. and Williams, R. S., "Improved Pattern Transfer in Nanoimprint Lithography at 30 nm Half-Pitch by Substrate-Surface Functionalization," *Langmuir*, **21**(14), 6127-6130(2005).
 12. Kawai, A., "Adhesion and Cohesion Properties of dot Resist Patterns Ranging from 84 to 364 nm Diameter Analyzed by Direct Peeling Method with Atomic Force Microscope Tip," *J. Photopolym. Sci. Technol.*, **15**(1), 121-126(2002).
 13. Bunker, B. C., Carpick, R. W., Assink, R. A., Thomas, M. L., Hankins, M. G., Voigt, J. A., Sipola, D., De bore, M. P. and Gulley, G. L., "The Impact of Solution Agglomeration on the Deposition of Self-Assembled Monolayer," *Langmuir*, **16**(20), 7742-7751(2000).