

SPL과 소프트 리소그래피를 이용한 나노 구조물 형성 연구

류진화*, 정명영#, 김창석**

Fabrication of Nanoscale Structures using SPL and Soft Lithography

Jin Hwa Ryu*, Myung Yung Jeong# and Chang Seok Kim**

ABSTRACT

A nanopatterning technique was proposed and demonstrated for low cost and mass productive process using the scanning probe lithography (SPL) and soft lithography. The nanometer scale structure is fabricated by the localized generation of oxide patterning on the H-passivated (100) silicon wafer, and soft lithography was performed to replicate of nanometer scale structures. Both height and width of the silicon oxidation is linear with the applied voltage in SPL, but the growth of width is more sensitive than that of height. The structure below 100 nm was fabricated using HF treatment. To overcome the structure height limitation, aqueous KOH orientation-dependent etching was performed on the H-passivated (100) silicon wafer. Soft lithography is also performed for the master replication process. Elastomeric stamp is fabricated by the replica molding technique with ultrasonic vibration. We showed that the elastomeric stamp with the depth of 60 nm and the width of 428 nm was acquired using the original master by SPL process.

Key Words : Scanning Probe Lithography (주사 탐침 리소그래피), Soft Lithography (소프트 리소그래피), Nanoscale Structure (나노 구조물)

1. 서론

지식정보화 사회의 고도화에 따라 정보 전송량의 수요를 충족시키기 위하여 고집적화 및 광대역폭의 소자 수요가 늘어나고 있다. 이러한 수요를 충족시키기 위하여 최근에 광집적회로 (Photonic Integrated Circuit, PIC)에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 2001년에 제시된 미국 반도체산업협회

(Semiconductor Industry Association, SIA) 로드맵에 서는 2010년까지 DRAM 형상의 크기가 70nm 정도로 꾸준히 작아질 것이라고 예측하였다.¹

이러한 추세에 대응하여 마이크로/나노 구조물의 제작 공정에 관한 연구가 현재 활발하게 진행되고 있으며, 그 중 저가격화의 관점에서 각광 받고 있는 방법이 고분자를 이용한 소자 제작기술이다. 현재 고분자를 이용한 고집적화 소자의 제작 방법

접수일: 2006년 2월 6일; 게재승인일: 2006년 5월 10일

* 부산대학교 나노시스템공정공학과 대학원

교신저자: 부산대학교 나노시스템공정공학과

E-mail myjeong@pusan.ac.kr Tel. (051) 510-2819

** 부산대학교 나노시스템공정공학과

중 유망한 나노 임프린트 리소그래피(Nano Imprint Lithography, NIL) 기법은 스탬프라고 불리는 미세 구조물을 가진 금형을 폴리머 층과 물리적으로 접촉시켜 미세 패턴을 직접 전사시키는 기법으로 단순한 공정, 짧은 공정시간 및 저렴한 공정비용으로 미세 구조물의 대량 복제가 가능하여 다른 공정에 비해 상당한 장점이 있다. 하지만 NIL은 미세 구조물을 가지는 정밀한 스탬프를 요구하게 되는데, 이러한 스탬프의 제작은 CNC가공, LIGA, 전자빔 리소그래피 등 여러 방법에 의하여 제작될 수 있다. 그러나 이러한 기법들은 모두 장시간이 소요되고 전용장비를 요구한다. 향후에는 미세 구조물의 제작을 위해서 더 빠르고, 더욱 간단한 접근 방법이 필요하며, 이러한 문제의 해결책으로 스탬프 제작에 관한 연구가 진행되고 있으며, 그 중 소프트 리소그래피의 고분자 복제(Replication) 기술을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{2,3} 고분자 복제를 이용한 스탬프 제작은 기존의 문제점을 해결하고 저가격 및 간단한 방법을 제공한다.

따라서 본 연구에서는 저비용과 나노 구조체의 대량복제를 목적으로 미세 구조물 제작 및 복제를 위한 스탬프의 간단한 제작 기술을 제시하였다. 먼저 전도성캔틸레버를 사용한 원자현미경으로 미세 구조물을 제작하고, 구조물의 형상을 제어하기 위하여 식각 공정을 수행하여 원형 마스터를 제작하였다. 그리고 소프트 리소그래피 기법의 도입으로 나노 패턴닝용 스탬프의 제작연구를 수행하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 주사 탐침 리소그래피

미세 구조물 제작을 위한 주사 탐침 리소그래피(Scanning Probe Lithography, SPL)기법은 기판과 탐침에 전압을 인가하여 기판을 국부적으로 산화시켜 구조물을 제작하는 기법으로, 극 미세 구조물 제작, 기하학적인 형상의 제약조건 없이 구조물을 제작할 수 있고, 단순한 공정, 짧은 공정시간 및 저렴한 공정비용의 장점을 가지고 있다. SPL기법에 의한 국부적인 산화반응은 캔틸레버와 기판의 간격이 일정 수준에 도달하였을 때 주위에 존재하는 수분을 이용하게 된다.⁴ 주위에 존재하는 수분은 표면장력에 의하여 캔틸레버팁-기판에서 메니스커스(meniscus) 형태의 물기둥을 형성시킬 수 있다. Fig. 1은 국부적인 산화반응에서 기판표면의 개략도를 나타내었

다.

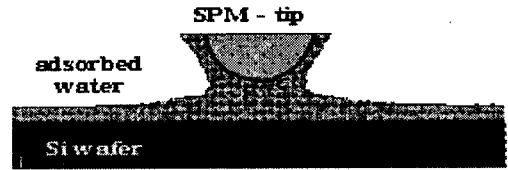
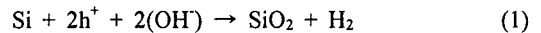


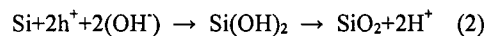
Fig. 1 Schematic of an SPM interface in a humid environment

국부적인산화반응은 절대적으로 팁에 인가되는 전압과 관련이 있다. 전압은 두 가지 기능을 가지는데, 첫째로 메니스커스 안의 물 분자를 가수분해시키고, 둘째로 기판-산화물 계면으로 산소 음이온을 침투시킨다. 메니스커스 또한 국부 산화반응에서 두 가지 역할을 가진다. 표면의 산화에 필요한 산소 중(대부분 OH)을 제공하고, 또한 산화를 위한 전기장의 통로를 제공한다. 더욱 중요한 것은 메니스커스의 안쪽과 바깥쪽이 각각 81과 1로 서로 다른 전기적 유전율을 가지고, 오목한 경계선에 의한 효율적인 렌즈로서 작용된다. 그 결과 산화반응에 포함되는이온들은 메니스커스 안쪽에 제한된다. 국부적인 산화반응은 팁과 기판에 인가되는 전압의 세기, 전압 인가시간, 기판도핑, 공간전하, 상대습도 그리고 캔틸레버 힘에 의하여 영향을 받는다.^{5,7}

SPM에 의한 국부적인 산화반응은양극 산화반응과 유사하다.



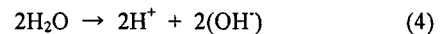
Water/surface interface :



Tip/surface interface :



위의 반응은 물 분자의 분해에 의하여 가능하다.



이상과 같은 산화반응에 의한 산화 동역학은 전압과 시간의 함수로서 산화물의 크기를 결정할 수

있다. 산화물의 높이는 전압 인가시간에 대수적으로 비례하고, 인가된 전압의 세기에 선형적으로 비례한다. 이러한 관계를 Snow6의 모델에 따르면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$h(t, V) = V/E_0 \ln[RE_0t/V + 1] \quad (5)$$

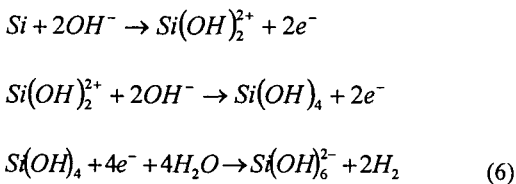
따라서 산화물의 높이(h)에 직접적으로 영향을 주는 최대변수는 인가전압(V)이라고 할 수 있다.

2.2 습식 이방성 식각

미세가공은 반도체 기판(Si, GaAs등) 또는 부도체 기판(quartz, glass등)을 선택적으로 식각하여 새로운 구조물을 제작하는 가공법을 의미한다. 그리고 미세가공은 기판표면을 선택적으로 제거하는 기판미세가공(bulk micromachining)과 기판표면에 선택적으로 미세 구조물을 쌓으면서 가공하는 표면미세가공(surface micromachining)으로 분류되는데, 본 연구에서 사용하게 된 기판미세가공은 다시 식각 사용물질에 반응성 이온이나 증기상 식각 가스에 의하여 기판을 수직적으로 제거하는 건식식각과, 화학용액에 의하여 기판을 선택적으로 제거(등방성, 이방성)하는 습식식각으로 분류된다.

그 중 습식 이방성 식각은 기판의 결정면에 따른 식각속도의 차이를 이용하여 구조물을 제작하는 기법이다. 이러한 습식식각에서 가장 많이 사용되는 용액은 KOH로서, 실리콘 기판에 대하여 600:400:1({110}:{100}:{111})의 식각속도의 차이가 있다. 또한 실리콘산화물과 실리콘 기판 사이의 식각 선택성은 실리콘 기판이 훨씬 민감하게 반응되고, 60°C, 30wt% KOH 용액에서는 Si(100)이 실리콘 산화물에 비하여 약 200배 빨리 식각 된다고 알려져 있다.⁸

기판의 분해는 다음과 같이 Seidel⁹의 모델에 의하여 설명될 수 있다.



2.3 소프트 리소그래피

소프트 리소그래피 기술은 반도체 공정에서 나

타나는 사용광원의 파장에 따른 회절문제, 부대비용의 문제 등을 해결하기 위하여 제안된 비 광학적 리소그래피 기법이다.¹⁰ 이 기법은 마이크로/나노 공정을 포함하는 미세 제조공정에서 공정의 편리성, 효율성 그리고 저비용의 장점을 제공한다.

소프트 리소그래피기술은 주로 실록산 계열의 주재(precursor)와 주재의 경화반응을 활성화 시키는 경화제(curing agent)를 사용하여 진행되는 기법이다. 상온에서 액체상태인 주재와 경화제를 일정 비율로 혼합하여 원형마스터 표면 위에 도포하게 되면, 자발적인 중합에 의한 경화반응이 이루어지게 된다. 경화반응은 액체상태 혼합물 내에서 하이드로 실레이션(hydrosilylation) 반응이 이루어져 고체상태의 탄성체로 가교결합을 하게 된다. 이때 중합반응은 온도 및 경화제의 함량에 따라 조절될 수 있다.¹¹ 그리고 경화된 스탬프는 낮은 표면에너지에 의하여 원형 마스터로부터 접질을 벗기듯 쉽게 분리 될 수 있다.

소프트 리소그래피의 최대 장점은 탄성력을 가진 스탬프를 사용한다는 것이다. 하드 스탬프를 이용하는 경우에는 제품에 언더컷이 있다든지, 또는 복잡한 형상의 제품을 가공할 시에 제품의 손상이 필연적이다. 그렇기 때문에 현재까지 많은 공정들이 적층하는 공정을 사용하며 많은 비용과 시간이 들어가게 되었다. 이에 반해 탄성체 스탬프를 이용하게 되면 곡면에 있는 패턴의 복제뿐만 아니라, 언더컷이 있는 3차원 형상의 구조물까지 쉽게 복제할 수 있다.

탄성체 스탬프의 재료로는 일반적으로 엘라스토머인 PDMS(Polydimethylsiloxane)가 주로 사용된다. PDMS는 탄성체 스탬프로서 가지는 중요한 몇 가지 성질이 있다. 엘라스토머이므로 기판표면에 상대적으로 넓은 범위에 걸쳐 흡착되고, 충분히 변형이 가능하여 마이크로미터 스케일에서 평평하지 않은 표면과도 정합접촉을 이룰 수 있다. 또한 다른 물질과 화학 반응성이 아주 작고, 낮은 표면에너지(22-24mJ/m²) 및 탄성체의 성질로 인하여 복잡하고 부서지기 쉬운 구조물로부터 쉽게 복제 및 분리가 가능하다. 그리고 균질(homogeneous)하고 등방성(isotropic)이며 300 nm 이상의 파장을 갖는 광원에서 매우 투명하다. 이러한 특징에 의하여 PDMS는 스탬프로서의 가능성을 지니고 있다.

소프트 리소그래피 기술은 이상과 같은 스탬프의 탄성적 성질, 화학적 안정성, 낮은 표면에너지

등의 특성을 이용하여 새로운 구조물 복제 및 제작의 많은 부분에서 응용 및 활용되고 있다.

3. 실험 방법

나노 구조물의 저비용 대량생산을 위한 연구 수행 절차도를 Fig. 2에 나타내었다. 먼저 SPL의 최적화 실험을 하면서 마스터를 제작하는 연구를 수행하였고, 구조물의 낮은 높이를 해결하고자 식각공정을 수행하였다. 그리고 제작된 마스터로 소프트 리소그래피공정을 거침으로서 저비용의 나노 패터닝용 스탬프 제작가능성을 확인하였다.

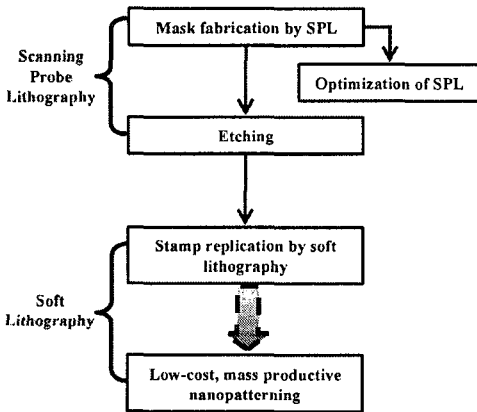


Fig. 2 Flow-chart of experiment method

3.1 나노 구조물 제작

3.1.1 SPL 공정 최적화

실험은 SPM(PSIA, XE-100) 장비를 사용하여 캔틸레버 팁과 기판 사이에 작용하는 반발력을 28.740nN으로 균일한 힘이 작용하도록 고정시킨 접촉모드(contact mode)로 진행하였다. 그리고 사용된 캔틸레버는 전기 전도도를 향상시키기 위하여 실리콘 표면에 Ti-Pt 코팅된 캔틸레버를 사용하였다. 사용된 기판은 브롬(Br) 도핑된 p-type Si(100), 1-10Ω cm을 사용하여, 5mm×5mm 크기로 SPL의 샘플로 제작되었다. 그리고 모든반도체 공정에서 웨이퍼의 세정이 공정수율에 큰 영향을 미치게 된다. SPL에 의한 산화반응 또한 웨이퍼 위의 오염물질 및 유기물질이 산화반응에 직접적인 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여, 본 연구에서는 Piranha cleaning [H2SO4(98%) : H2O2(30%) = 1 : 0.9]에 의하여 세정공정을 수행하였다. 세정 공정은 초음파 세정기

내에서 수행하였으며, 표면에 결합되어 있는 오염물에 진동에너지를 인가하여 효율적인 세정공정을 수행하였다. 그리고 세정공정 중에 생성된 화학산화물이나 산화물 내에 포함된 금속오염물을 효과적으로 제거하기 위하여 DHF(Dilute HF)처리를 수행하였다. 이러한 경우는 기판 표면의 산소 원자가 수소 원자로 치환(H-termination)되어 캔틸레버와 샘플 사이에 생성되는 메니스커스의 양이 줄어들게 된다.

세정된 샘플은 하나의 도전체 제작 및 기판 고정을 위하여 금속 디스크(metal plate)와 실버 페이스트(silver paste)를 사용하였다. SPL을 위해 제작된 샘플과 공정 개략도를 Fig. 3에 나타내었다.

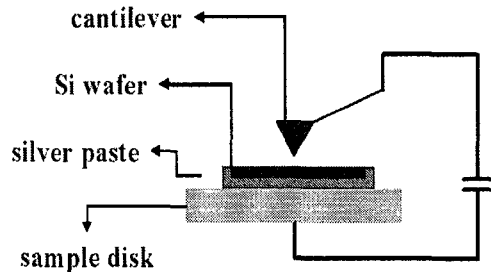


Fig. 3 Schematic diagram of experiment setup

제작된 샘플은 SPM 챔버 내에 로딩 시켰고, 산화반응에 직접적인 영향을 주는 습도는 상대습도 73~75%로 균일한 조건을 유지하도록 하였다.

가장 먼저 SPL에 의한 국부적인 산화물을 제작하기 위하여 로딩된 샘플의 표면을 측정하였다. SPL에 의한 패턴의 제작 공정에는 두 번의 표면 측정이 이루어지는데, 그 중 첫 번째 표면 측정으로 샘플의 거칠기 및 표면의 형상과 같은 정보를 얻기 위한 순서이다. 이때 스캔 속도는 5μm×5μm의 영역에서 0.5Hz로 수행 되었다.

그리고 측정된 정보는 리소그래피를 위한 소프트웨어로 로딩되어, 샘플의 표면에 생성시킬 산화물(oxide dot)을 설계하였다. 설계된 산화물을 제작하기 위한 공정 변수로 인가전압(V)을 10V에서 20V까지 2V간격으로 수행하였고, 전압인가 시간은 300ms로 고정시키고 산화실험은 수행되었다. 산화실험이 종료된 후 SPL에 의한 두 번째 표면측정을 실시하여 제작된 산화물을 확인하였다. 산화실험이 수행되는 동안 사용된 캔틸레버는 모두 동일 하

였다.

3.1.2 원형 마스터 제작

식각 마스크 제작은 SPL에 의한 선(line) 형태의 국부적인 산화물을 제작하였다. 공정조건은 기존 산화물 제작조건과 동일한 산화물이 제작되는 최소 전압인 10V에서 총 길이 3 μ m을 10 μ m/s의 속도로 제작하였다. 그리고 식각공정을 위하여 SPL 공정 중에 발생된 오염물질 제거를 목적으로 초음파 세정기 내에서 아세톤으로 5분간 세정공정을 거쳤다. 다음으로 아세톤에 의한 영향을 없애기 위하여 D.I water로 세정을 거친 후에, KOH(10wt%) 용액으로 3분간 식각 공정을 수행하였다. KOH에 의하여 식각된 실리콘 기판은 표면에 존재하는 KOH용액을 제거하기 위하여 D.I water, 아세톤 순서로 실리콘 기판을 각각 5분간 또다시 세정 공정을 거친 후에 실리콘 마스터는 제작되었다. 이때 모든 세정공정은 초음파 세정기 내에서 수행되었다.

3.2 나노 구조물의 복제

탄성체 스탬프를 제작하기 위하여 엘라스토머인 PDMS (DOW Corning, Sylgard 184)를 사용하였다. PDMS는 주재(elastomer precursor, Sylgard 184A)와 경화제(curing agent, Sylgard 184B)로 나뉘어 지는데, 두 화합물이 혼합되어야 중합반응에 의한 경화가 이루어지게 된다. 이때 경화반응의 진행속도는 경화제의 함량 및 가열온도에 의하여 조절될 수 있다.

탄성체 스탬프 제작을 위한 혼합액의 제조는 주재와 경화제를 일정비율(10:0.9)의 혼합에 의하여 이루어졌다. 제조된 혼합액을 가지고 소프트리소그래피의복제공정은 다음과 같은 순서로 진행되었다. 먼저 제조된 혼합액을 원형 마스터 표면위에 도포시키는데, 일반적으로 경화되기 전의 액상 PDMS는 높은 점도 값을 갖기 때문에 구조물이 있는 부분의 바로 위에서 붓게 되면 기포가 발생할 수 있다. 따라서 기판표면과 최대한 가까운 지점에서, 구조물이 없는 가장자리의 한 지점과 PDMS의 혼합액이 접촉하도록 하여 모든 면적이 천천히 접촉하도록 하였다.

도포된 PDMS는 초음파 환경내에서 가열공정(50 $^{\circ}$ C)으로 2시간 동안 경화를 시켰다. PDMS 혼합액을 천천히 도포시켰더라도 PDMS의 점성으로 인하여 구조물의 미세한 부분까지 충진이 이루어지지

않았기 때문에 진동에너지에 의하여 미세한 부분까지 충진을 유도시켰다. 이때 저온반응을 통하여 반응속도를 감소시킴으로써 정밀한 충진을 유도하였고, 인가된 초음파의 진동에너지에 의하여 액상 내 및 구조물과 액상의 경계면에 존재하는 기포를 제거시켜 정밀 충진을 유도하였다. 그리고 PDMS의 미 경화된 부분은 90 $^{\circ}$ C에서 10분간 가열공정을 통하여 완전경화를 시켰다. 경화된 PDMS스탬프는 고분자의 탄성적인 성질에 의한 복원을 방지하기 위하여 상온에서 상온에서 1시간가량 유지시킴으로써 소성변형을 유도하였다.

경화된 탄성체 스탬프는 낮은 표면에너지와 탄성적인 성질에 의하여 원형 마스터로부터 쉽게 분리가 가능하였다. 분리된 PDMS는 패턴이 생성된 영역 이외의 부분을 청리함으로써 스탬프 제작을 완성시켰다. Fig. 4에 탄성체 스탬프의 제작과정을 나타내었다.

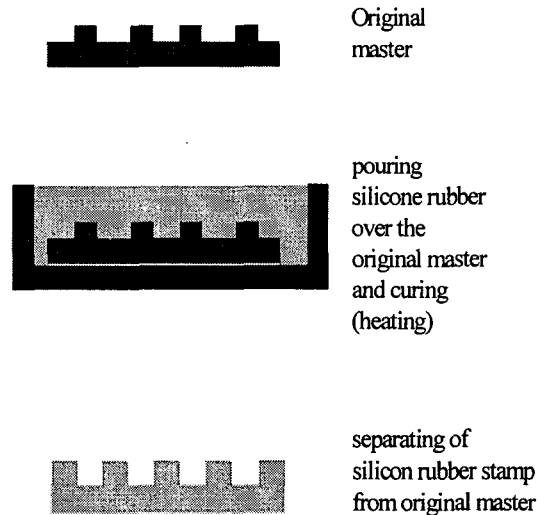


Fig. 4 Steps in the fabrication of elastomeric stamp

4. 실험결과 및 검토

4.1 마스터 제작

실험의 주된 변수는 인가되는 전압이었으며, 전위차는 10V에서 20V까지 2V간격으로 동일 조건에서 각각 3번씩 수행되었다. 산화물은 10V에서부터 생성되기 시작하였으며, 20V까지선형적으로 증가되어 식(5)에 의한 이론적인 값에 근접함을 확인 할

수 있었고, 높이와 선폭이 2.4nm에서 5.2nm, 78nm에서 195nm로 증가되었다. 그리고 고풍상비의 구조물을 제작하기 위하여 생성되는 산화물의 선폭과 높이에 대한 전압 민감성을 확인한 결과 생성되는 산화물의 높이에 비하여 선폭이 더욱 민감하게 변화됨을 알 수 있었다. Fig. 5에 생성된 산화물의 선폭과 높이에 대한 전압 민감성의 결과를 나타내었으며, 구조물의 선폭이 높이에 비하여 약 45배 민감하게 반응하였다.

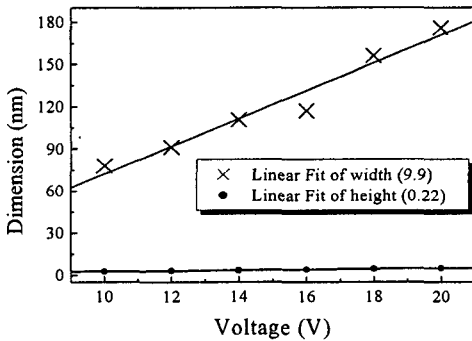
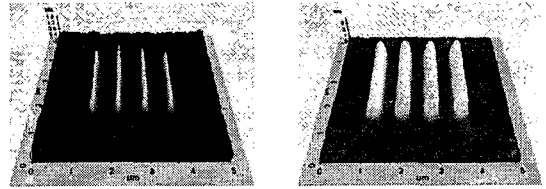


Fig. 5 Width and height of the oxide for voltage sensitivity : Width is more sensitive

이러한 결과로 소프트 리소그래피 공정을 수행하게 될 경우 공정 중에 오염될 수 있는 티끌 및 재료 표면의 거칠기와 산화물의 구별이 어려울 것으로 판단되었다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 식각 공정이 수행 되었다.

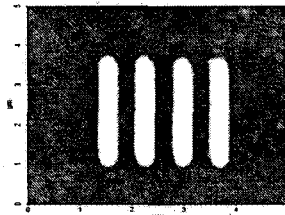
실험은 식각에 앞서 기판의 특성 확인부터 먼저 수행되었다. Piranha 세정만 수행된 기판과 DHF 세정까지 수행된 기판을 비교하였는데, Piranha 세정만 수행되었을 경우는 기판위에 존재하는 산소 분자에 의하여 기판은 친수성의 특성을 가지게 되어 높이가 3nm, 선폭 371nm의 넓은 산화물이 제작되었다. 그리고 DHF 세정까지 수행되었을 경우는 기판위에 존재하는 산화막이 제거되고 수소(H) 원자로 치환됨에 따라 소수성의 특성을 가지게 되어 높이가 1nm, 선폭 100nm의 좁은 산화물이 제작되었다. 선폭의 측정은 FWHM (Full Width at Half Maximum)을 측정하여 비교하였다. Fig. 6에 기판표면 특성의 결과를 나타내었다.



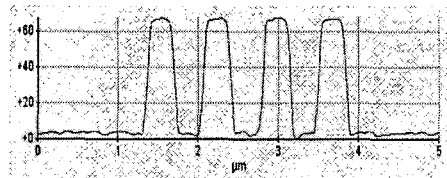
(a) Hydrophilicity (b) Hydrophobicity
Fig. 6 The effect of substrate surface property

위의 결과를 바탕으로 선폭 100nm이하의 구조물 제작을 위하여 실험은 기판의 특성을 소수성으로 유지하여 수행되었다.

낮은 산화물의 높이를 제어하기 위하여 수행된 식각공정은 KOH용액의 산화물과 실리콘 기판 사이의 식각선택성 차이 {SiO₂ : Si(100) = 14 : 2600}를 이용하여 수행되었다. 산화물의 높이는 기존 1nm에서 65nm까지 향상되었고, Fig. 7에 식각결과를 나타내었다. 그리고 높이의 향상과 함께 선폭의 증가까지 발생하게 되었는데 이러한 이유는 실리콘의 산화공정은 실리콘 기판 표면의 소모(45%)에 의하여 산화물이 생성(55%)되는데, SPL에서는 메니스커스와 기판의 경계면에서 낮은 밀도의 산화물이 기판 내에 생성되어 이 점을 기준으로 식각공정이 진행되었기 때문이다.



(a) 2D SPM image of the original master



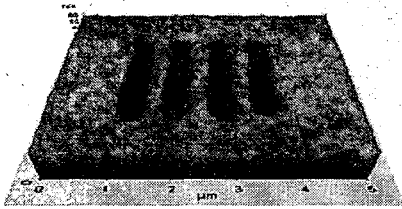
(b) Profile of the original master

Fig. 7 SPM image of the original master

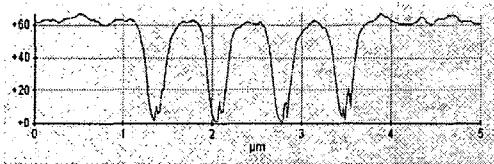
4.2 탄성체 스템프 제작

실험에 사용된 PDMS는 복제 공정에서 재료의 특성상 약 1%의 수축률을 가지는 것으로 알려져

있다. 따라서 복제공정을 수행하기 위해서는 치수 정밀도의 평가가 반드시 필요하다. 우선 각각의 공정에서 치수 균일성을 알아보았다. 그 결과 SPL공정에 의하여 제작되는 구조물은 높이 0.6~0.8nm, 선폭 117~176nm, 식각 공정에서는 높이 64~67nm, 선폭 410~450nm, 그리고 소프트 리소그래피 공정에서는 깊이 58~65nm, 선폭 410~450nm 범위 내에서 공정이 이루어짐을 확인 할 수 있었다. 이러한 충진 은 초음파의 진동에너지에 의하여 가능하였다. 소프트 리소그래피에 의하여 제작된 탄성체 스탬프를 Fig. 8에 나타내었다.



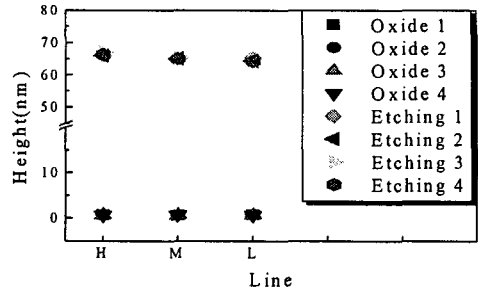
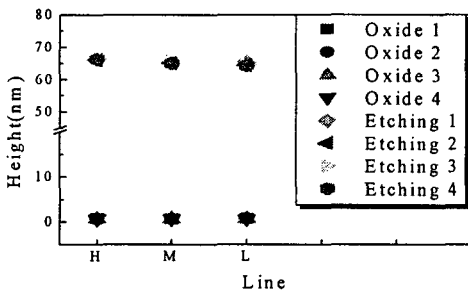
(a) 3D image of the elastomeric stamp



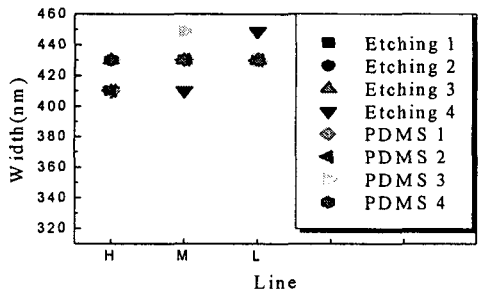
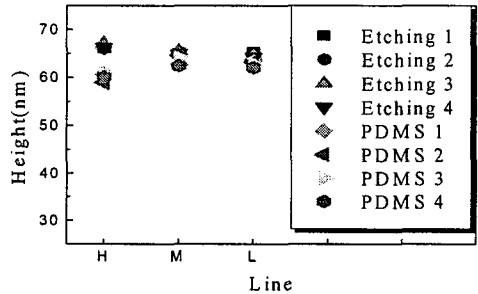
(b) Profile of the elastomeric stamp

Fig. 8 SPM image of the elastomeric stamp

그리고 Fig. 9에 각각의 공정단계 결과를 나타내었다.



(a) Comparison of dimension between silicon oxides and etched silicon oxides



(b) Comparison of dimension between original master and elastomeric stamp

Fig. 9 Dimension measurement results of nanoscale structures

치수 정밀도는 공정의 마지막 단계에서 선폭의 변화를 비교하였으며, 다음과 같이 나타내었다.

$$\text{Dimensional accuracy} = \frac{D_{OP} - D_{TP}}{D_{OP}}$$

DOP: 원형 패턴의 치수

DTP: 패터닝된 패턴의 치수

따라서 식각 결과 426nm에서 소프트리소그래피 복제 결과 428nm로 1% 이하의 오차가 발생하였으며, 각각의 결과값은 평균값을 사용하였다. 그리고 탄성체 스탬프 복제공정에서 구조물 형상의 변화는 기존 양각(positive type)에서 음각(negative type)으로 변화되어, 경화공정이 이루어진 다음 응력(stress)에 의한 부피 팽창의 결과로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 소자의 소형화 및 고집적화 공정에서 발생하는 비용의 증가 문제로 인한 집적공정 기술의 한계성을 해결하기 위하여, 나노 구조물의 저비용, 대량생산을 위한 공정 개발을 목적으로 수행되었다.

SPL의 국부적인 산화반응에 의하여 미세구조물을 제작하고, 소프트 리소그래피 기법에 의하여 복제공정을 수행함으로써 나노 구조물의 저비용, 대량복제 공정을 위한 새로운 기법을 제안하였다. 그 결과 소프트 리소그래피 기법에 의하여 제작된 탄성체 스탬프는 깊이 60nm, 선폭 428nm였으며, 이는 선폭 426nm인 원형 마스터와 1%이하의 오차를 가지는 치수 정밀도로 제작되었다.

향후 고분자내의 잔류응력 해결 및 공정기법의 보완연구가 이루어 진다면 고집적화를 향한 저비용 나노패턴 구현 기술에 유효한 기법이 될 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2003년도 부산대학교 교내학술연구비(신입교수연구정착금)에 의한 연구임.

참고문헌

- Geppert, L., "semiconductor lithography for the next millennium," IEEE Spectrum, Vol. 33, pp. 33-38 1996.
- Mizuno, H., Sugihara, O., Kaino, T., Okamoto, N. and Hosino, M., "Low-loss polymeric optical waveguides with large cores fabricated by hot embossing," Optics Letters, Vol. 28, pp. 2378-2380, 2003.
- Choi, S. J., Yoo, P. J., Baek, S. J., Kim, T. W. and Lee, H. H., "An Ultraviolet-Curable Mold for Sub-100-nm," J. AM. Chem. Soc., Vol. 126, pp. 7744-7745, 2004.
- Garcia, R., Calleja, M. and Rohrer, H., "Patterning of silicon surfaces with noncontact atomic force microscopy : Field-induced formation of nanometer-size water bridges," J. Appl. Phys., Vol. 86, pp. 1898-1903, 1999.
- Calleja, M. and Garcia, R., "Nano-oxidation of silicon surfaces by noncontact atomic-force microscopy : Size dependence on voltage and pulse duration," Appl. Phys. Lett., Vol. 76, pp. 3427-3429, 2000.
- Snow, E. S., Jernigan, G. G. and Campbell, P. M., "The kinetics and mechanism of scanned probe oxidation of Si," Appl. Phys. Lett., Vol. 76, pp. 1782-1784, 2000.
- Tsau, L., Wang, D. and Wang, K. L., "Nanometer scale patterning of silicon (100) surfaces by an atomic force microscope operating in air," Appl. Phys. Lett., Vol. 64, pp. 2133-2135, 1994.
- Chien, F. S. S., Chang, J. W., Lin, S. W., Chou, Y. C., Chen, T. T. and Gwo, S., "Nanometer-scale conversion of Si₃N₄ to SiO_x," Appl. Phys. Lett., Vol. 76, pp. 360-362, 2000.
- Madou, M. J., "Fundamentals of microfabrication," CRC press, pp. 183-258, 2002.
- Xia, M. and Whitesides, G. M., "Soft lithography," Annu. Rev. Mater. Sci., Vol. 28, pp. 153-184, 1998.
- Narasimhan, J. and Papautsky, I., "Polymer embossing tools for rapid prototyping of plastic microfluidic devices," J. Micromech, Microeng., Vol. 14, pp. 96-103, 2004.