

속도 한계 극복한

AFM 리소그래피 기술 개발

글 | 이해원 _ 한양대학교 화학과 교수 haiwon@hanyang.ac.kr

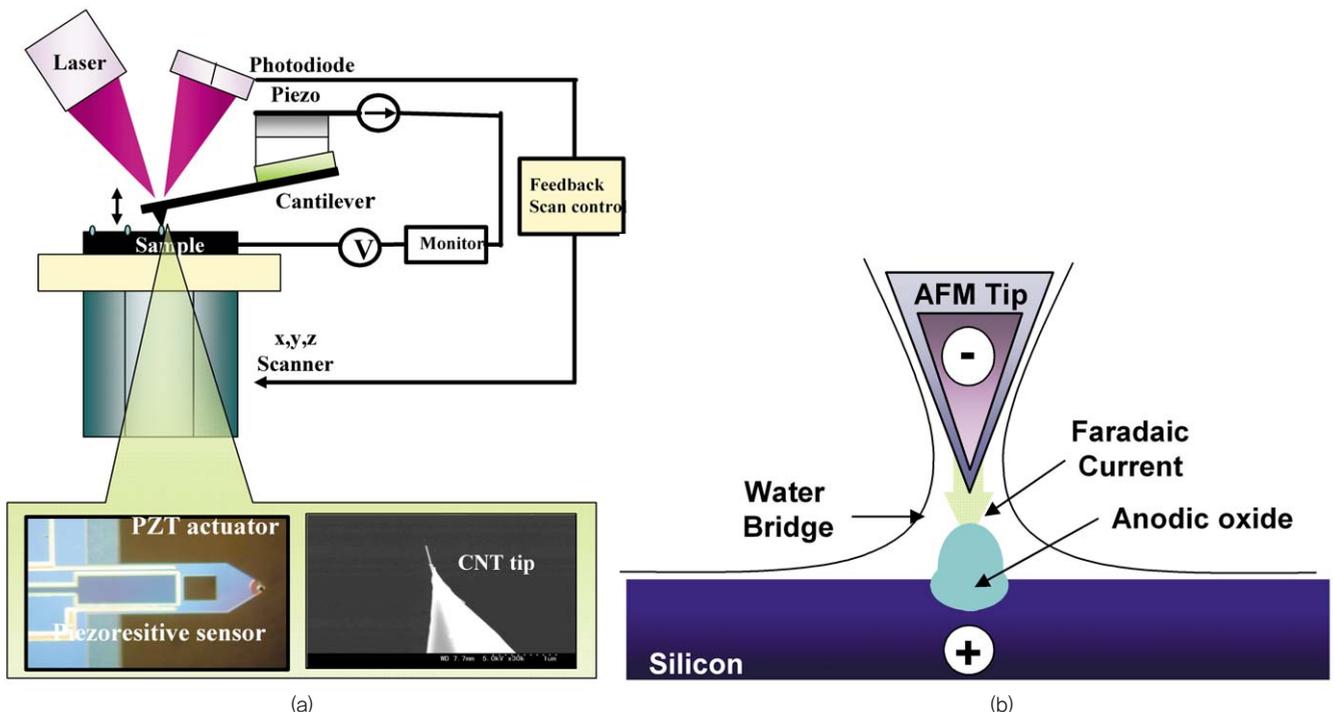
반도체, 전자산업은 마이크로기술을 근간으로 눈부신 발전을 거듭했다. 최근에는 반도체, 전자소자의 고집적화 및 고성능화를 실현시키기 위하여 나노미터 영역까지 인위적인 조작이 가능한 나노기술에 대한 연구가 이루어지고 있다. 실제로 많은 전문가들은 나노기술을 21세기를 이끌어갈 핵심적인 과학기술의 하나로 전망하고 있다. 특히, 소자의 고집적화에 따라 더욱 작은 선폭을 형성할 수 있는 나노 패터닝기술(나노 리소그래피)의 중요성이 부각되고 있다.

기존의 광 리소그래피 기술은 광학적 분해능에 의한 한계와 장치 집약에 의한 높은 공정비용 때문에 새로운 리소그래피 기술이

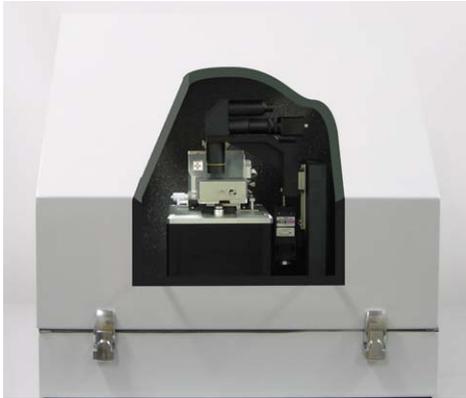
필요했다. EUV, E-beam, AFM 기반 리소그래피와 같은 차세대 리소그래피 기술이 그 대안으로 주목받고 있는데, 그 중에 특히 AFM 리소그래피 기술은 마스크를 사용하지 않고 손쉽게 나노 구조물을 형성할 수 있다는 장점 때문에 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 탐침에 의해 운용되는 AFM시스템은 낮은 리소그래피 속도와 대면적 패터닝의 어려움을 안고 있어 기술의 실용화를 위해서는 지속적인 연구가 뒷받침되어야 한다.

극미세 탐침으로 표면 주사, 이미지 얻어

원자힘 현미경(AFM)은 원자 단위의 분해능을 가지고 표면 특성



〈그림 1〉 (a) AFM 리소그래피 시스템 개념도 (b) 실리콘 산화구조물 형성 원리



〈그림 2〉 고속 AFM 리소그래피 시스템



을 분석할 수 있는 장비로 기존의 주사전자현미경(SEM)과 투과전자현미경(TEM) 분석 장비는 진공 상태에서만 측정 가능하지만, AFM은 진공 상태나 대기 중뿐 아니라 액체내에서도 측정이 가능해 폭넓은 응용분야를 가진다.

AFM 리소그래피는 일반적인 광 리소그래피의 경우와 달리 반도체 또는 금속 기판 위에 팁을 통하여 음의 전압을 인가함으로써 산화막을 성장시켜 나노 구조물을 얻는 방식이다. 〈그림 1〉은 AFM 리소그래피 시스템 개념도와 실리콘 산화구조물 형성 원리를 보여준다. 이렇게 형성된 산화물 패턴은 반도체 및 전자소자 제작시 절연막 또는 에칭마스크로 사용될 수 있다.

AFM 리소그래피에 의하여 형성된 패턴 형상은 팁에 인가하는 전압, 리소그래피 속도, 습도, 기판 표면 특성 등에 영향을 받는다. 리소그래피 속도를 증가시키면서 균일하게 형성된 패턴을 얻기 위해서는 고속에서도 안정적인 탐침의 움직임과 탐침으로부터 방출되는 전자를 효율적으로 기판에 전달하는 것이 무엇보다 중요하다. 이에 대한 해결책으로 개발된 것이 단칩 고속 AFM 리소그래피 시스템과 고감도 고해상도 레지스트이다.

기존의 AFM 리소그래피에서는 수백 $\mu\text{m/s}$ 이하의 속도에서 안정적으로 패턴을 형성하였지만, AFM 고속 리소그래피에서는 고속에서도 안정적으로 동작하는 스캐너의 개발과 고속에서 발생하는 비선형 동작특성을 보정해 줄 수 있는 소프트웨어가 필요하다.

〈그림 2〉는 고속 AFM 리소그래피 시스템의 실제 모습으로 기본적인 AFM 기능 이외에 다양한 리소그래피 기능이 포함되어 있다. 고속에서도 스캐너의 움직임을 안정적으로 제어하기 위하여 스캐너에 인가되는 전압신호를 별도로 제어할 수 있으며, 이후 고속 리소그래피 시스템에 탑재될 PZT 작동 탐침을 사용할 수 있도록 고

속모드가 따로 설계되어 있다.

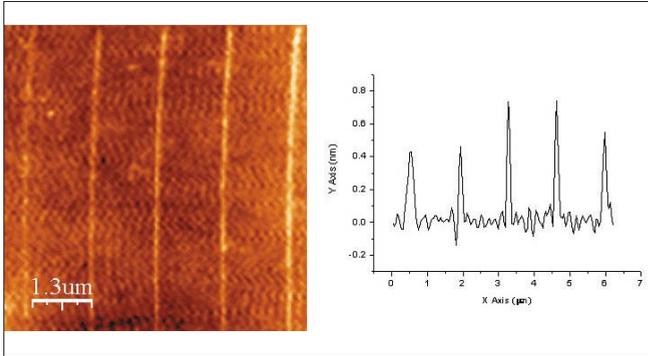
이러한 고속 리소그래피 시스템에서는 탐침의 움직임이 불안정해지기 쉬워 균일한 패턴을 얻기가 어려운데다 쉽게 마모될 수 있다. 따라서 탐침을 안정시키며 내구성을 증가시켜 줄 수 있는 소프트한 레지스트층이 필요하다. 극미세 산화 구조물을 고속으로 실현하기 위해서는 고속으로 진행되는 탐침에서 방출하는 전자를 패턴이 형성되는 기판에 빠르게 전달할 수 있는 고감도 전자 흡수 분자 레지스트가 개발되어야 한다. 이런 전자 흡수층 레지스트는 광학 리소그래피 분야에는 널리 사용되고 있는 화학 증폭형 레지스트의 성분인 광산발생제(PAG)를 이용하여 개발되었다. 이 물질은 전자를 쉽게 받아들이는 성질을 가지고 있어 산화막 생성 기판에 전자를 잘 전달하는 중간 흡수층으로 작용하게 된다.

1cm/s 속도로 80nm 선폭 실리콘 산화구조물 형성

PAG는 전자나 빛의 조사에 의해 분해되면서 유기 술폰산 같은 강산을 발생하고, 발생된 산은 촉매로서 작용하여 산 반응성 고분자와 반응하여 연쇄반응을 개시하게 되어 수많은 화학결합을 생성하거나 분해반응을 일으키는 원리로 개질된 이후 에칭공정과 같은 2차 공정을 통하여 극미세 나노 구조물을 형성시킬 수 있게 된다.

연구팀은 PAG를 포함한 고분자를 합성하여, AFM 리소그래피를 위한 고감도 분자 레지스트로 도입, 실리콘 표면에 박막화함으로써 고속 AFM 리소그래피에 적용할 수 있었다. 〈그림 3〉은 연구팀이 자체 합성한 고감도 레지스트를 코팅한 기판 위에서 1cm/s의 속도로 형성된 80nm의 선폭을 가지는 실리콘 산화구조물 라인패턴을 나타낸다.

이번에 개발한 고속 AFM 리소그래피 전용 시스템은 광 리소그



〈그림 3〉 PAG를 함유한 폴리머 레지스트에서 1cm/s 속도의 리소그래피 패턴

어떤 응용 분야에

■ 원자힘 현미경(Atomic Force Microscope)

광학현미경과 전자현미경의 뒤를 잇는 제3세대 현미경으로 나노 기술 발전에 꼭 필요한 첨단 계측장비이다. 극미세 탐침을 이용하여 표면을 주사함으로써 표면의 이미지를 얻어내는 현미경으로, 날카로운 탐침의 끝을 샘플 표면에 X-Y 평면상으로 주사해 시료의 형상을 수평·수직 방향 모두 정확하게 측정할 수 있고, 시료의 물리적 성질과 전기적 성질까지도 알아낼 수 있다. 또 진공에서만 관찰이 가능한 전자현미경과 달리 대기 중에서도 사용할 수 있으며, 배율은 광학현미경이 최고 수천 배, 전자현미경이 최고 수십만 배인 데 비해 최고 수천만 배까지 가능해 하나하나의 원자까지 상세하게 관찰할 수 있다.

■ 원자힘 현미경 리소그래피(Atomic Force Microscope Lithography)

원자힘 현미경 시스템을 이용하여 시료의 표면과 극미세 탐침 사이에 전류를 흘려주어 시료의 표면을 산화시켜 나노 구조물을 형성하는 극미세 가공 기술이다. 특히 수십 나노미터의 선폭을 갖는 나노 구조물을 원하는 위치에 손쉽게 정확히 패터닝할 수 있어 광 리소그래피가 가지는 선폭의 한계를 극복하기 위해 연구되는 차세대 리소그래피 기술 중의 하나로 각광을 받고 있다.

■ 레지스트(Resist)

리소그래피 공정을 위하여 사용되는 점액성 액체를 말하며, 빛이나 전자빔 등에 의해 물질의 성질이 변하는 감광물로서 용해도에 따라 양각이나 음각의 패턴을 만들 수 있다. 특히 차세대 전자 부품 소재 산업과 전자 산업에서 중요한 소재다.

■ 광산발생제(Photo Acid Generator)

빛을 받으면 화학 구조가 변해 레지스트의 물성변화를 도와주는 산을 발생하는 물질로 반도체 기판 위에 극미세 구조 패턴 형성시 감도를 향상시키는 화합증폭 역할을 한다.

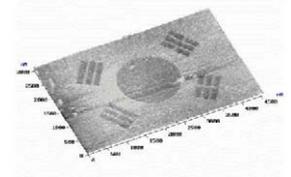
래피가 갖는 고속의 나노 구조물 형성속도와 AFM 시스템이 가지고 있는 고해상성 기술을 접목하여 1cm/s 이상의 속도에서도 기판 위의 원하는 위치에 정확하게 나노 구조물을 형성할 수 있게 되었다. 특히 이 시스템은 기존 AFM 리소그래피의 문제점이었던 속도의 한계를 극복해 고속 AFM 리소그래피 원천 기술 확보와 함께 차세대 리소그래피 기술로서도 상용화될 수 있는 기반을 마련하였다. 이러한 고속 AFM 리소그래피 전용기술이 상용화 될 경우, 광 리소그래피 및 전자빔 리소그래피 기술을 부분적으로 대체해 마스크 제작 및 소자 제작 등의 나노패턴 공정 분야에 적용될 수 있을 것이다.

AFM 리소그래피를 이용한 다양한 산화물 패턴

1. 세상에서 제일 작은 태극기



(a)

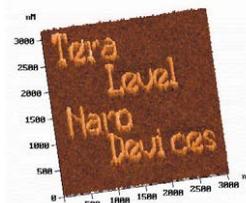


(b)

(a) 2002년 월드컵 당시 사용되었던 세상에서 제일 큰 태극기(60m×40m)

(b) AFM 리소그래피를 이용해 제작한 세상에서 제일 작은 태극기(4.5mm×3mm). 가장 큰 태극기 안에 200tera(10¹³) 개의 나노 사이즈 태극기를 그릴 수 있음

2. CNT 탐침을 이용한 원자힘 현미경 리소그래피



CNT 탐침을 이용하여 Ta기판 위에서 산화구조를 패턴 (2.7nm 높이와 32nm 폭을 가진 테라급나노소재개발사업단의 로고)



글쓴이는 서강대학교 화학과 졸업 후 휴스턴대학교에서 박사학위를 받았다.