



글_ 이석재

나노종합기술원
나노바이오연구실장
sjlee@nnfc.re.kr

글쓴이는 한양대학교 화학공학과 학사·석사 졸업 후 한국과학기술원에서 생명화학공학 박사학위를 받았다. 삼성엔지니어링 책임연구원, (사)한국바이오 집학회 대전·충청 지역분회장을 지냈다.



글_ 이경균

나노종합기술원
나노바이오연구실 박사후 연구원
kglee@nnfc.re.kr

글쓴이는 미국 루이빌대학교 화학공학과 학사·석사 졸업 후 한국과학기술원에서 생명화학공학 박사학위를 받았다.

나노 구조체 기반 적층형 프린팅 융합 응용기술

휘어지고 가볍고 유연하면서 투명한 고종회비(high aspect ratio) 나노구조체는 눈에 보이지 않지만 빛 산란, 물질 반응 촉진 등 다양한 특성을 나타내며 향후 차세대 웨어러블 기기, 광학기기, 에너지 저장 장치, 바이오 센서 응용 등 미래 시대를 여는 필수 구성 요소이다. 이러한 차세대 고종회비 나노구조체를 개발하고 활용하는 중요한 요소 중 나노 구조체를 일상생활에서 사용하는 다양한 물질 표면에 대면적으

로 전사하는 기술과 기능성 물질을 나노구조체 표면에 도포하여 응용하는 기술의 개발 필요성이 증대되고 있는 실정이다.

기존 소프트 리소그래피의 한계

반도체 공정 중 소프트 리소그래피 관련 기술의 눈부신 발전으로 수십 나노미터에서 수백 마이크로미터 크기의 미세구조체를 형성하는 기술적 진보를 이룩하였다. 이 기술은 정교한 미세패

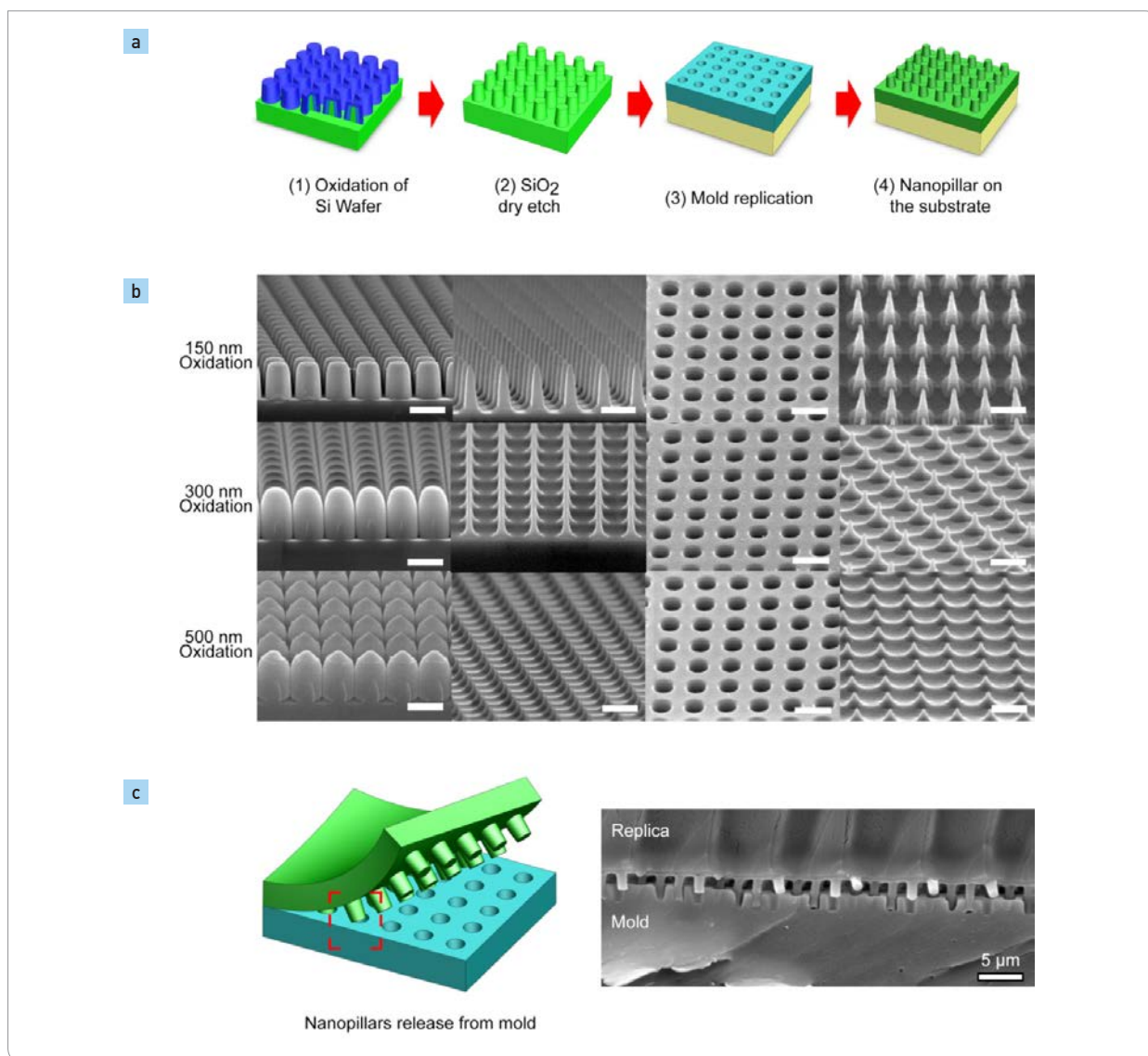
턴이나 구조물을 만들기에는 적합하지만 복잡한 공정과 장치가 필요하다는 단점을 가진다. 이러한 단점을 극복하고자 1990년대 초부터 미국 하버드대학의 화이트사이드(Whitesides) 교수를 필두로 미세접촉프린팅과 미세물딩을 소프트 리소그래피 방법으로 정의하고 수많은 연구 결과를 발표하였다.

소프트 리소그래피 방법은 실리콘 웨이퍼 표면에 자외선 감광제를 도포하고 원하는 패턴 또는 구조물을 형성한 후 PDMS와 같은 연성투명소재를 활용하여 나노 또는 마이크로 구조체를 저렴한 가격과

대량으로 형성할 수 있는 장점을 바탕으로 활용돼 왔다. 이러한 장점에도 불구하고 그동안 나노구조물을 형성하는 물질과 일상 생활에서 사람들이 많이 사용하는 물질 즉, 종이, 플라스틱, 금속, 유리, 천과 같은 기관과의 표면 결합성 차이로 나노구조체를 다른 물질에 형성하는 기술적 제한이 있었다.

소프트 리소그래피와 자외선 감광성 폴리머 융합

이러한 기술적 제약을 극복하고자 나노종합기술원(원장 이재영)의 박재홍 박사그룹이 소프트 리소



▶ 1. 나노구조체 몰드 형성 과정모식도와 실제 몰드와 폴리머 나노구조체 결과물(Adv. Mater. 2014, 26, 6119-6124)

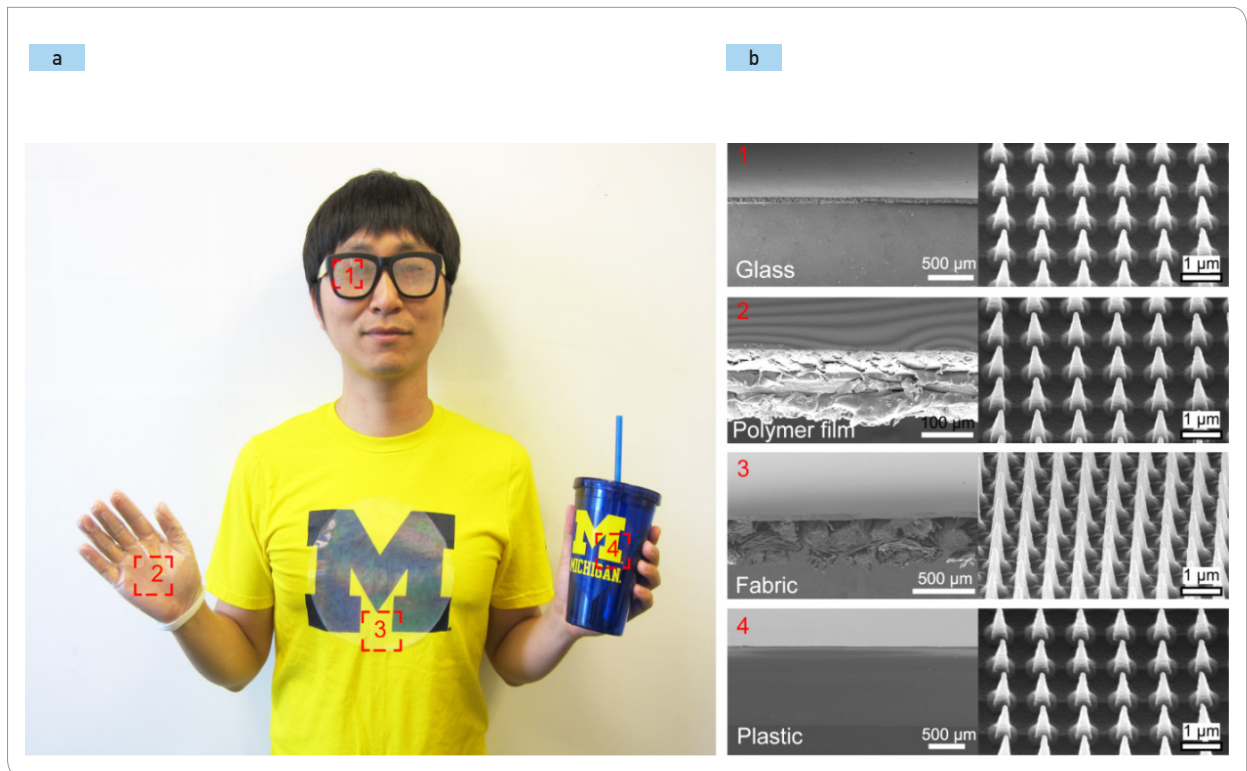
그래피의 장점과 자외선 감광성 폴리머를 융합하여 고종횡비 나노구조체를 다양한 종류의 기판에 전사할 수 있는 기술을 목적으로 개발한 원천 기술인 가역 나노복제 몰딩 (Reversible Nano-Replica Molding) 기술을 이용해, 심화된 기술적 진보를 이루었다.

자외선 감광성 폴리머는 일반적으로 개시제와 모노머 또는 다이머가 혼재된 용액으로 가공성, 경량성, 유연성 등의 특성을 기반으로 나노구조체 몰드의 표면에 쉽게 퍼지며 미세한 공간을 채워 나노구조체가 쉽게 복제가 가능하게 되었다(그림 1 참조). 우선 크기가 다른 나노구조체를 실리콘 기판에 형성한 후 자외선 감광성 폴리머를 도포하여 1차 역상 복제 필름을 형성한 후 여기에 2차로 감광성 폴리머를 도포하고 타깃 전사 물질 즉, 종이, 플라스틱, 유리, 금속, 천과 결합 후 롤러로 밀어 기포를 제거하고 UV에 노출시켜 경화한 후 분리하면 나노구조체는 자연스럽게 타깃 물질 표면에 전사된다.

이는 <그림 2>와 같이 일상 생활에서 사용하는 옷, 안경, 장갑 등에도 손쉽게 나노구조물을 형성할 수 있다는 장점을 가진다. 특히 천의 경우 감광성 폴리머를 흡습하는 성질과 천의 조직 표면과 강한 결합을 기반으로 높은 결합성을 보인다. 그리고 PET 필름과 결합한 경우, 최대 10.3MPa의 결합력을 보이는데 이는 기존에 상용화된 접착성 물질이 가진 8.3MPa 이상의 결합력을 보여주어 그 특성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

적층형 프린팅법에 의한 선택적 친수성·소수성 조절 기술

대면적 나노구조체 표면에 선택적으로 기능성 물질을 도포하는 기술과 접목하며 다양한 분야에 응용이 가능하다. 이를 구현하기 위해 친수성 또는 소수성을 가지는 폴리머용액이나 나노입자를 수십 나노미터에서 마이크로미터 크기의 층을 고속 프린팅 방식으로 구현이 가능하며 이를 적층형 프린팅법(Layer-by-layer printing)이라고 한다. 이 방법은 원하는 기판의 표면에 사용자가 형성하고자



▶▶ 2. 일상 생활에서 사용하는 다양한 물건 표면에 전사된 나노구조체 결과물 사진(Adv. Mater. 2014, 26, 6119-6124)

하는 글자, 모양, 그림 등을 선택적으로 구현하는 기술이다.

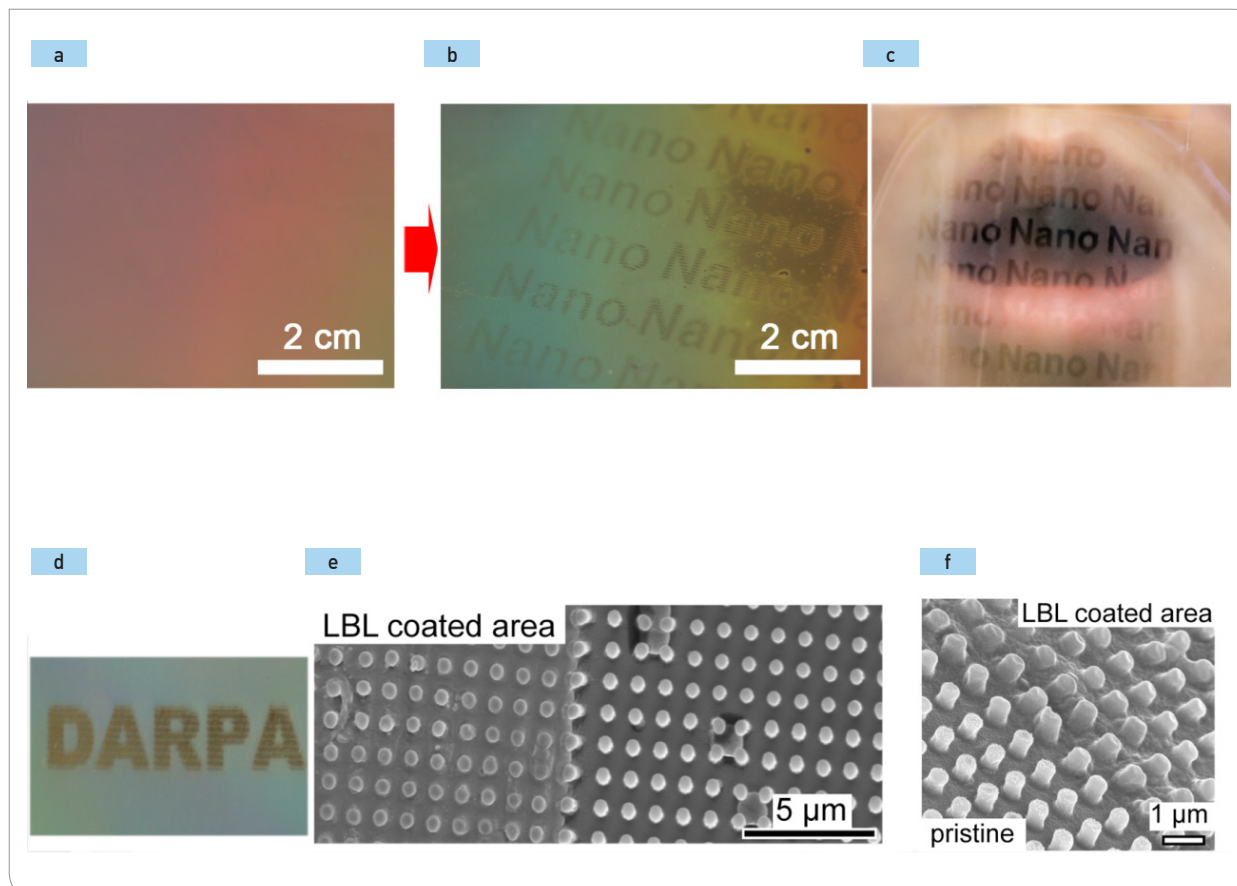
이번 연구를 통해, 나노구조체로 형성된 소수성 기관에 친수성을 가진 물질로 프린팅하여 나노구조체 표면을 선택적으로 개질하는 기술을 제안하였다. 본 방법은 나노구조물의 광학적 특성과 도포하는 고분자 용액의 광학 특성이 비슷하여 특정 영역에 다층으로 글자를 프린팅하면 사람의 눈으로는 프린팅된 패턴이 보이지 않는다.

하지만 물질 표면에 사람이 입김을 불어넣으면 사람의 호흡 속에 포함된 수분이 친수성 글자 패턴에만 선택적으로 젖어 순간적으로 글자가 보인 후 증발하여 다시 글자가 사라진다(그림 3 참조). 이는 수백 나노미터 크기의 얇은 고분자 필름을 프린팅 방식으로 구현했으며, 도포하는 물질은 여러 종류의 유무기 재료의 선택이 가능하며 고속으로 대면

적의 표면에 사용자가 원하는 선택적 기능성을 부여할 수 있다는 장점을 가진다.

차세대 나노 구조체 응용기술

이번 연구로 개발된 나노구조체 대면적 전사기술 기반 적층형 프린팅 표면 개질을 통해 손쉽게 나노구조체의 표면을 선택적으로 친수성·소수성으로 조절이 가능하다. 이는 일상 생활에서 숨겨진 미세 패턴 또는 그림을 사람의 호흡만으로 감별이 가능하다는 장점으로 향후 홀로그램 기반 위변조 방지 기술의 대체가 가능하여 고가의 명품, 신분증, 지폐, 약물의 진위여부 판별에 적용이 가능하다. 또한, 본 기술은 대면적 나노구조체 전사 기술을 향후 웨어러블 디바이스, 에너지 저장장치, 고감도 바이오 센싱 분야의 플랫폼 기술로 적용이 가능할 것으로 기대한다. ⑤⑦



▶ 3. 적층형 프린팅 방법을 이용한 선택적 친수성·소수성 나노구조체 조절로 일반 환경에서는 패턴이 보이지 않지만 사람의 입김 또는 수분 증기에 노출된 후 나노 글자가 나타나는 사진과 적층된 폴리머 층 결과물 사진(Adv. Mater. 2014, 26, 6119-6124)