

The Effect of Surface Engineering on Nanoscale Adhesion and Friction of Nano and Energy Materials

박정영

한국과학기술원 (KAIST), EEWs대학원, (Email: jeongypark@kaist.ac.kr)

초 록

본 발표는 atomic force microscopy (원자력현미경) 기법을 이용하여 그래핀을 포함한 다양한 나노물질의 물리적, 화학적, 역학적, 또한 전기적 특성의 상호영향 (correlation)의 이해를 목표로 한다. 원자력 현미경은 표면과 검침사이의 물리적 힘을 측정하고 이를 피드백시킴으로써 표면의 형상을 얻는 원리이며 표면의 역학적 (마찰력, 점착력), 전기수송적 특성을 동시에 측정할 수 있는 이점이 있다. 또한 원자력 현미경은 표면의 구조적인 특성과 표면에너지에 대한 정보를 나노미터 스케일에서 줄 수 있다. 나노선, 나노입자, 또한 연료전지의 모델 시스템에서 원자력현미경을 이용한 표면의 나노역학적 특성 및 점착력의 측정이 다루어질 것이며 표면공학을 통한 표면처리에 따른 마찰력과 점착력의 제어를 논의할 것이다.

1. 서론

conductive probe 원자력 현미경과 마찰력 현미경을 동시에 구동하여 재료의 표면을 분석하는 방향의 연구는 최근에 유기 분자박막의 전기적 특성 분석 혹은 CdSe tetrapod의 역학적 전기적 특성 분석에 이용되었다. 표면의 점착력 (adhesion)을 검침과 시료의 거리의 변화에 따른 힘의 측정을 통해 가능하다. 검침이 시료에서 접촉이 된 후에 시료에서 멀어질 때 검침과 시료사이의 점착력 때문에 검침에 tensile stress가 가해지게 된다. 검침이 더욱 더 시료에서 멀어지게 되어 검침과 시료가 떨어지게 되는데, 이 순간 (snap out of contact)의 tensile load가 점착력이다. 점착력을 얻은 후에 검침의 반지름을 SEM등의 다른 방법으로 측정한 후 interfacial energy를 얻을 수 있으며, 이는 물질의 표면에너지에 기인하는 고유한 값이므로 표면의 화학적인 특성에 대해 비 간접적인 정보를 얻을 수 있다.

2. 본론

그래핀의 이동방성 마찰력 연구

그래핀이 층의 개수에 의해 매우 다른 마찰특성을 갖고 있음은 많은 연구를 통해 보고되었으며, 같은 수의 원자층을 갖는 그래핀은 동일한 마찰특성을 갖고 있는 것으로 알려져왔다. 본 연구에서는 같은 수의 원자층을 갖는 그래핀도 다른 마찰 특성을 갖을 수 있음을 원자력현미경을 통해 증명하였다. topography, 투과도, 라만 분광 측정으로부터 단일 원자층임이 확인된 그래핀이 세 가지의 도메인으로 구분되는 마찰특성을 가지는 것이 관측되었다 [1]. 이를 rotation과 수직 힘을 변경하는 방법등을 이용하여 그래핀의 미세 주름이 마찰력에 영향을 끼치고 있음을 밝혀내었다. 원자력 현미경 팁의 진행 방향을 변경해가며 측정된 세가지의 마찰력 도메인은 모두 180도의 주기로 마찰특성이 변화되며 최소값을 기준으로 동일한 비율로 증가, 감소를 한다. 또한 낮은 수직 힘에서는 큰 차이를 보이던 마찰력 도메인들이 수직힘을 증가함에 따라 동일한 마찰력을 갖게 된다. 이는 그래핀이 세가지 방향의 주름을 갖고 있으며, 주름의 방향과 수직 할 때 마찰특성이 최대치가 되며, 평행할 때 최소값을 갖게 됨으로 해석된다. 또한 수직힘이 일정 크기 이상이 될 때 퍼커링 효과가 마찰특성을 지배함으로써 세 가지의 마찰 도메인이 사라지게 된다.

화학적 변형된 그래핀의 연구

화학적 변형은 그래핀의 특성을 개질시키는 매우 효율적인 방법으로 알려져 있다. 화학적 변형에 따라 그래핀의 전기적, 역학적 특성은 매우 달라지게 된다. sp² 결합을 하고 있는 그래핀이 sp³ 결합을 하게 되며 전자구조와 기계적, 역학적 특성에서 순수한 그래핀과 매우 다른 특성을 갖게 된다. 그림 1에서 보이는 바와 같이 그래핀을 fluorination 시키게 될 경우 약 2.9 eV 밴드갭이 열리게 되며, 마찰력의 경우 약 6배 가량이 증가하게 된다. 다른 물질과의 결합이 그래핀의 전기적 특성에 미치는 영향에 대해서는 기존 연구에서 많이 보고 되어있는 반면 마찰력 변화의 원인에 대한 연구는 미비하다. 따라서 본 연구팀은 마찰력 증가의 원인에 대해 이론 연구를 통해 원인을 분석하고자 하였다. 원인이 탄소 원자의 stiffness가 fluorination에 의해 변화를 했기 때문으로 판단하고, 이론 연구팀과의 공동연구를 통해 fluorination이 그래핀의 normal stiffness를 약 5배가량 증가시키게 되며, 이 증가된 normal stiffness가 마찰력의 증가 원인이 됨을 증명하였다 [2].

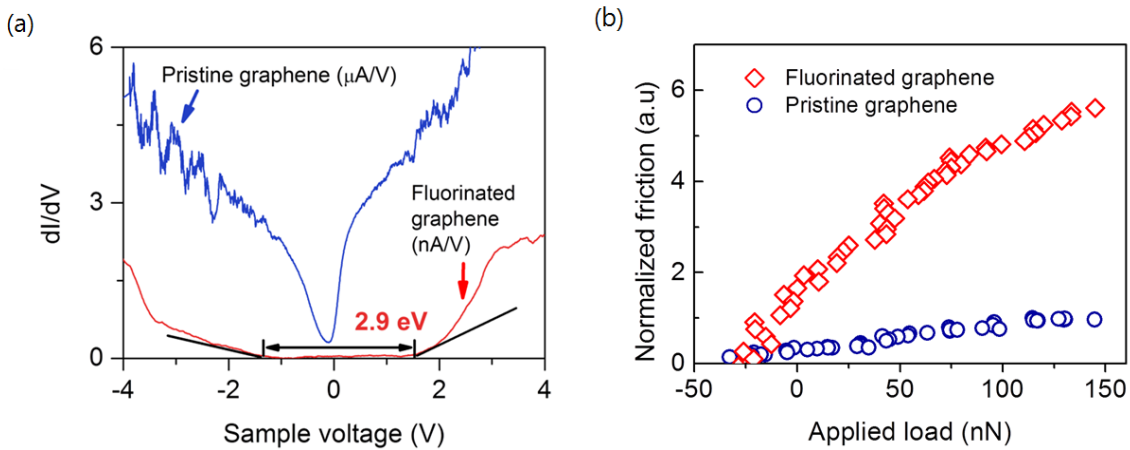


그림1. Fluorinated 그래핀의 (a) 전기적과 (b) 마찰 특성과 pristine 그래핀과의 비교

나노입자위의 유기분자층의 공학적 제어를 통한 나노미터 수준의 마찰력 및 점착력 제어

본 연구는 유효성 유기분자층과 나노 입자의 복합체를 이용한 나노미터 단위의 마찰력 제어를 주요 내용으로 한다. 또한 자외선-오존, 화학적 방법 등의 공학적 제어를 이용하여 표면이 개질된 유기분자-나노 입자 복합체 또한 포함한다. 유효성 유기물로 둘러 쌓인 나노 입자 복합체는 표면의 마찰력 및 점착력을 크게 변화시키며, 이를 이용할 경우에 마이크로- 또는 나노 단위의 소자 (MEMS 또는 NEMS)의 효율을 크게 향상 시키는 것이 가능함을 원자력 현미경을 이용한 연구로 보여주었다. TTAB(Tetradecyltrimethylammonium Bromide), PVP (poly(vinylpyrrolidone))의 유기분자-플래티늄 나노 입자 복합체가 실리콘 표면의 마찰력 및 점착력을 크게 변화시킨다는 결과를 도출 하였다 (그림 2). 또한 위의 TTAB, PVP 외에도 HAD (hexadecylamine), HDT (hexadecylthiol) 등이 유효성 유기분자층으로 사용되었다. 뿐만 아니라, 자외선-오존을 이용한 표면 개질이나 화학적인 방법을 통한 유기분자층을 개질 시켜 마찰력 및 점착력의 제어가 가능하다 [3].

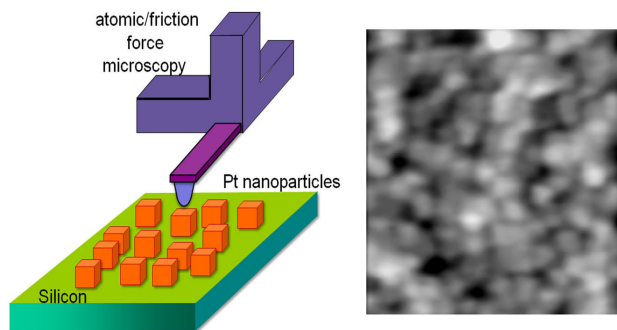


그림 2. 나노입자위의 원자력현미경 실험 도식도 및 나노입자의 원자력현미경 이미지

3. 결론

본 연구는 다양한 나노 및 에너지 물질의 물리적, 화학적, 역학적, 또한 전기적 특성의 상호영향에 대한 결과를 보여준다. 원자력 현미경을 이용하여 마찰력, 점착력, 변형, 전기전도도 측정이 이루어졌다. 예를 들어 그래핀의 화학적 변형 및 도핑을 통한 밴드갭의 제어는 이러한 그래핀의 응용가능성을 획기적으로 넓혀줄 수 있다. 화학적으로 변형된 그래핀은 원래 그래핀에 다른 나노역학적 전기적 특성을 가질 것이며 이를 통합적인 측정을 통해서 규명하는 일은 매우 중요하다.

참고문헌

1. Jin Sik Choi, Jin-Soo Kim, Ik-Su Byun, Duk Hyun Lee, Mi Jung Lee, Bae Ho Park*, Changgu Lee, Duhee Yoon, Hyeonsik Cheong, Ki Ho Lee, Young-Woo Son, Jeong Young Park*, and Miquel Salmeron, Science 333, 607 (2011).
2. Sangku Kwon+, Jae-Hyeon Ko+, Ki-Joon Jeon, Yong-Hyun Kim*, and Jeong Young Park* (+equal contribution) Nano Letters 12, 6043-6048 (2012). Highlighted in Nature, Nature 487, 143 (2012).
3. Jeong Young Park, Langmuir. 27, 2509-2513 (2011).