

paper)를 제조하는데 성공하였다. 위 그룹은 먼저 Hummer's method를 통하여 제조된 산화그래파이트 용액을 초음파 처리를 통하여 산화그래핀 용액으로 변환한 후 이를 진공여과처리(vacuum filtration)하여 필름을 제조하고 헥실아민(hexylamine) 용액으로 처리한 후 최종적으로 하이드라진(hydrazine) 용액을 이용하여 환원시킴으로써 알킬화된(alkylated) 그래핀 페이퍼를 제조하였다. 위 공정은 그래핀 용액을 바로 진공여과처리 하여 사용되는 방법에 비하여 암모니아나 미네랄 오일 같은 다른 첨가제가 필요 없는 장점을 가진다.

위 그룹에 의하면 알킬화된 그래핀은 표면의 알킬체인(alkyl chains)으로 인하여 그래핀보다 더 소수성을 띤다. 또한, 열중량 분석 결과를 고찰해 보았을 때 알킬아민이 그래핀 옥사이드에 물리적으로 흡착되어 있는 것이 아니라 공유결합을 통하여 화학적으로 결합된 것으로 결론지었다. 알킬화된 산화그래핀에서 알킬기가 인접한 산화그래핀간의 친수성에 의한 인력을 줄임으로써 그래핀 층간의 면적을 크게 하는 역할을 하는 것을 X-ray 회절분석(X-ray Diffraction)을 통하여 확인하였다. 일반적 산화그래핀 층간의 간격이 8.83 Å였지만 알킬화된 산화그래핀의 경우에는 알킬기가 층간의 간격을 넓히는 역할을 하여 층간 간격이 11.02 Å으로 증대되었다. 산화그래핀을 환원시켜 제조한 그래핀은 3.68 Å의 층 간격을 가졌고 알킬화된 그래핀 옥사이드를 환원시켜 제조한 알킬화된 그래핀의 경우에는 8.14 Å과 3.94 Å의 층 간격을 나타내었다. 위 연구팀은 8.14 Å의 층 간격은 알킬기에 의한 것이고 3.94 Å 층 간격은 알킬화된 산화그래핀에 존재하던 기능기들이 환원도중에 제거됨으로써 층 간격이 감소한 것이라고 주장하였다.

전도도 테스트 결과에 따르면, 산화그래핀과 알킬화된 산화그래핀 모두 그래핀 표면의 높은 기능기 밀도 때문에 전도도를 보이지는 않았으나, 산화그래핀과 알킬화된 산화그래핀을 각각 환원시켜 전도도를 측정한 결과, 산화그래핀으로부터 환원된 그래핀은 $116 \pm 115 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$, 알킬화된 산화그래핀에서 환원된 알킬화된 그래핀의 경우는 $57 \pm 20 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ 를 나타냈다. 연구팀의 주장에 따르면, 전기 전도도의 값은 일반적 방법으로 제조된 그래핀이 알킬화된 그래핀보다 높았지만, 그 전도도의 편차는 알킬화된 그래핀이 더 작았으며, 그 이유는 일반적 방법으로 제조된 그래핀의 경우에는, 산화그래핀이 그래핀으로 환원될 때 발생하는 질소 가스와 물 때문에 구조가 부분적으로 변형되지만, 알킬화된 산화그래핀은 알킬기로 인해 층 간격이 크기 때문에 환원될 때 발생하는 질소 가스나 물의 확산이 용이하고, 따라서 구조의 변형이 적기 때문이라고 설명하였다.

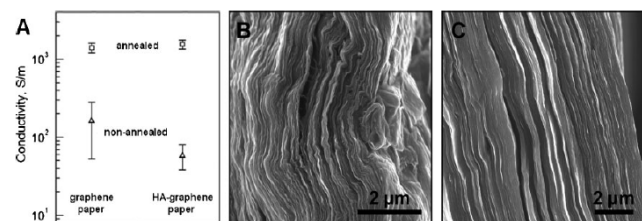


그림 7. (A) 상온에서 건조시킨 알킬화된 그래핀 페이퍼(HA-graphene paper)와 일반그래핀 페이퍼(graphene paper)의 전기 전도도(삼각형으로 표시)와 진공조건에서 180 °C에서 12시간 동안 열처리한 알킬화된 그래핀 페이퍼와 일반그래핀 페이퍼(정사각형으로 표시). 일반그래핀 페이퍼 (B)와 알킬화된 그래핀 페이퍼 (C)의 주사전자현미경(SEM) 사진.

<Adv. Mater., DOI: 10.1002/adma.200902069>

고민감도 나노와이어 센서

나노와이어 기반 트랜지스터(NW-FET)는 민감성이 높고 비 표지 방식이 가능하기 때문에 화학/바이오 물질을 검출하는 센서 가능성으로 많은 주목을 받았지만, 센서의 민감도에 영향을 주는 근본적인 요인에 대한 연구는 알려진 바가 거의 없었다. 미국 Case Western Reserve University의 X. P. A. Gao와 G. Zheng 연구팀은 나노와이어의 반지름보다 전하 스크린 길이(screening length)가 길고, 표면전하의 전계효과가 크게 작용할 때 민감도가 높은 NW-FET를 구현할 수 있다는 연구 결과를 발표했다. 전해질 게이트를 사용한 나노와이어 FET는 문턱전압 이하 구간에서 민감도가 지수적으로 증가하여 가장 높은 민감도 반응을 보이게 되는데, 이것은 문턱전압 이하에서 나노와이어의 전하 스크린이 줄어들어 표면전하의 전계효과가 가장 커지기 때문이라고 연구팀은 밝혔다. 나노와이어 FET가 문턱전압 이하, 문턱전압, 선형구간일 때의 모드로 나누어 pH센서를 동작시킨 결과 문턱전압 이하에서 효과가 가장 크다(그림 8). 단백질 검출 센서 역시 문턱전압에서는 선형구간일 때보다 500배 낮은 농도의 단백질을 검출할 수 있다는 것도 실험적으로 확인했다.

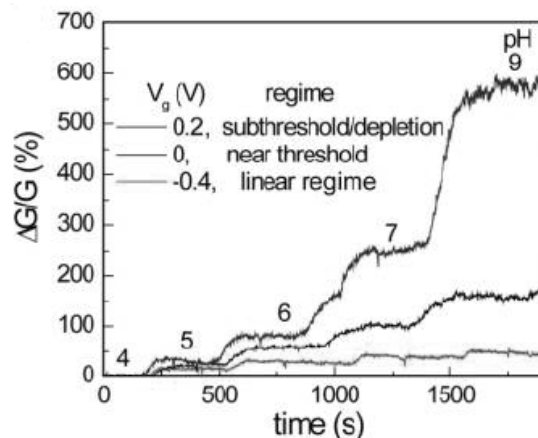


그림 8. 나노와이어 FET 동작 모드에 따른 pH 민감도.

또한, NW-FET 센서의 감지된 표면전하를 계산하여 실제 실리콘 나노와이어로 검출할 수 있는 전하 한계를 추정해냈으며, 문턱전압에서의 검출 한계가 가장 높음을 보였다. 이 결과는 나노와이어를 비롯한 다른 FET 센서의 민감도 한계를 연구하는데 그 적용 범위가 넓을 것으로 기대된다.

<Nano Lett., DOI: 10.1021/nl9034219, 2009>

본 기술 뉴스는 Wiley Interscience와 American Chemical Society Publication에서 발췌, 정리하였습니다.

<한국과학기술연구원 장성연 email : syjang@kist.re.kr>