

탄소나노튜브/V₂O₅ 나노선 헤테로 구동소자 특성연구

이강호, 이성민, 박소정, 허정환, 김규태, 박성준*, 하정숙*

고려대학교 전기공학과 나노소자연구실, *고려대학교 화공생명공학과 표면나노연구실

Research for MWCNTs/V₂O₅ Nanowire Hetero-Junction Actuator Devices

Kang-ho Lee, Seong-min Yee, So-jeong Park, Jung-hwan Huh, Gyu-tae Kim, Sung-joon Park*, Jeong-sook Ha*
Korea Univ. Nano Device Lab., *Korea Univ. Surface Nano Lab.

Abstract : 생명체의 근육을 구성하는 근섬유와 마찬가지로 나노선 구동기는 불규칙적으로 영커있는 나노선들의 집합으로 이루어져 있으며, 기존의 강유전체에 기반을 둔 구동기에 비해 낮은 구동전압과 높은 일률을 가진다. 대표적인 나노선인 MWCNTs(Multi-walled Carbon Nanotubs)와 V₂O₅ 나노선을 이용한 구동기는 이미 각각 시험된 바 있으나, 이들의 이종접합을 통한 구동기는 아직까지 보고되지 않았다. 본 연구에서는 탄소나노튜브와 V₂O₅의 이종접합을 통해 필름 형태의 구동기를 구현하여 각각의 나노선 만을 이용했을 때보다 월등한 성능을 보여주는 구동기를 구현하였다. 향후 실용화 가능성을 염두에 두어, 보다 강건하고 최적화된 나노선 sheet의 합성과 구동기의 구조적 향상이 이루어진다면 그동안 알려진 그 어떤 물질보다도 우수한 구동특성을 보여줄 것이라 예상된다.

Key Words : actuator, V₂O₅, CNT, nanowire

1. 서 론

전기적인 에너지를 기계적인 에너지로 전환해주는 장치인 actuator가 높은 응답속도와 고효율, 낮은 구동전압, 높은 일률을 갖도록 만드는 것은 robotics, optical fibre switch, prosthetic devices, sonar projector, microscopic pump 등의 분야에서 매우 중요하다. micro system에서 기존의 actuator는 벌크형태의 강유전체나 electrostrictive 물질로 만들어져 왔지만 작동 한계온도, 효율 및 일률에서 제한사항이 많다.

1991년 이지마 박사에 의해 탄소나노튜브가 발견된 이래로 기존의 물질과 확연히 구분되는 성질을 보이는 나노선에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 나노선들을 이용하여 sheet 형태의 구동기를 구현하고 이를 통해 기존의 강유전체에 기반을 둔 구동기보다 향상된 성능을 이끌어내고자 하는 노력이 계속되고 있다.

본 연구에서는 MWCNTs와 V₂O₅, 나노선들의 이종접합을 통하여 sheet형태의 구동기를 제작하고, 그 구동특성에 대하여 연구하였다.

2. 실험

2.1 시료의 준비

SDS(Sodium Dodecyl Sulphate) 1g, MWCNTs 0.1g(Aldrich), D.I. water 100ml를 비커에 섞은 후 10시간동안 sonication 하여 균일하게 분산시킨 MWCNTs를 준비하였다. Ammonium-meta-vanadate 0.4g, Acidic Ion Exchanger 5g, D.I. Water 3ml를 비커에 섞어 60℃에서 6시간 보관후, 상온에서 1주일동안 숙성시켜 V₂O₅ 나노선을 성장시켰다.

2.2 Sheet Actuator 제작

각각 충분한 길이로 성장된 V₂O₅ 용액 15ml와 MWCNTs 용액 15ml를 준비하여, 차례로 0.1µm pore size Nitrocellulose Ester(NCE)를 통과시킨 뒤 80℃의 오븐에서

12시간 동안 baking하여 수분 및 잔존물질을 제거하였다.

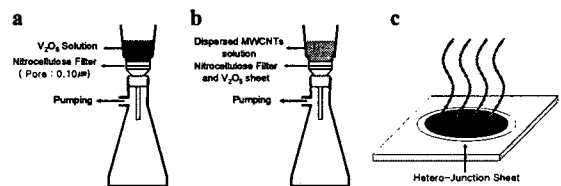


그림 1. Sheet Actuator의 제작. a. V₂O₅ 여과. b. MWCNTs 첨가. c. Baking.

2.3 Actuation 측정

이와 같이 제작한 MWCNTs/V₂O₅ Hetero-Junction Sheet에 구리전극을 부착 및 고정하여 전해질(1M NaCl)에 담근 뒤, DAQ를 통해 전압을 인가하여 actuation을 관찰하였다. 변위의 정량적인 측정을 위해 actuator를 CCD모듈을 탑재한 광학현미경(Olympus BX-41M)으로 관찰, 정지영상을 얻어 이미지분석을 하였다.

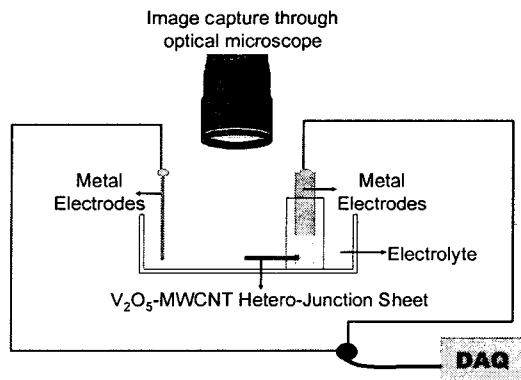


그림 2. 측정장치 모식도

3. 결과 및 고찰

이미지 분석을 통해 sheet의 고정부로부터 약 1.224mm 떨어진 곳의 변위를 측정하고 이를 0V의 전압을 인가했을 때와 비교함으로써 기하평균을 통해 변위를 계산할 수 있었고, sheet의 휘는 정도(각도)를 산출할 수 있었다. 따라서 sheet의 길이가 주어진다면 전압에 따른 변위를 예측할 수 있다.

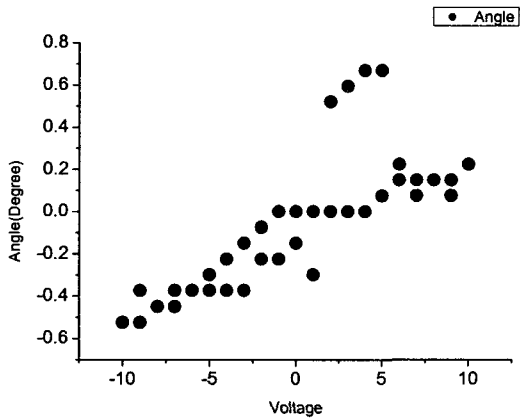


그림 3. 전압대 휨 각도 측정결과

Actuator의 진폭은 인가된 전압의 크기에 비례하였으며, 삼각파, 방형파, 사인파를 각각 인가 하였을 때, 인가한 교류전압의 실효값의 크기에 비례하여 변위가 결정되는 것을 확인할 수 있었다.

Hetero-Junction sheet actuator와 단일 나노선 sheet actuator간에 교류전원을 인가한 대조실험결과, 동일조건 (10Vpp, 1M NaCl)에서 단일 MWCNTs sheet actuator와 단일 V₂O₅ sheet actuator는 미미한 움직임만을 보여주는 반면, Hetero-Junction sheet actuator는 확연하게 구별되는 움직임을 보여주어 보다 효과적인 Electromechanical Actuator로서 작동함을 알 수 있었다.

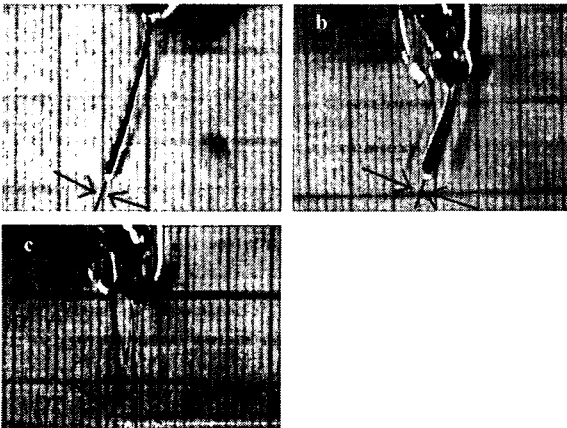


그림 4. 거시모델 대조실험. a. MWCNTs Sheet Actuator. b. V₂O₅ Sheet Actuator. c. Hetero-sheet Actuator.

4. 결론

본 연구에서는 Electromechanical Actuator의 일종인 MWCNTs/V₂O₅ 이종접합 구동기를 제작하였고 구동특성을 알아보기 위해 이미지 분석을 통해 정량적인 측정을 모색하였다. 실험결과, 나노선 구동기에 AC potential을 가하면 전해질내의 이온이 Entangled Nanowire들 사이에 흡착되거나 해리되어 sheet의 길이방향의 팽창을 일으키는 것이며 흡착된 양이온과 음이온의 크기에 따른 MWCNTs sheet와 V₂O₅ sheet의 길이변화의 차이에 의해 sheet형태의 actuator가 휘는 것으로 생각된다.

이미지 분석결과, 구동기의 변위는 인가된 전압의 크기에 비례하여 선형적으로 증가하였으나 과도한 전압이 인가되었을 때에는 산화되기 시작하여 결국 소자가 파괴되었다. 교류전압을 인가하였을 때 변위는 전압실효값의 크기에 비례하였으며 구동속도는 인가된 전원의 주파수에 비례했으나 진폭은 오히려 감소한다. 이는 전해질과 Sheet간의 이온교환속도가 인가된 전압의 주파수에 미치지 못하기 때문으로 생각된다.

향후 실용화 가능성을 염두에 둔 나노선 구동기를 고려해 볼때, 보다 강건한 나노선 Sheet의 합성법이 요구되며 다양한 종류의 나노선으로 실험을 수행하여 재료와 구조의 향상을 모색해야 한다.

감사의 글

실험이 진행되기까지 성원과 격려를 아끼지 않았던 나노소재연구실과 표면나노연구실 식구들에게 감사의 말을 전합니다.

본 연구는 한국과학재단 R01-2005-000-10648-0(2005) 연구과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Gang Gu et al., "V₂O₅ nanofibre sheet actuators", Nature, 2003
- [2] Ray H. Baughman et al., "Carbon Nanotube Actuators", Science, Vol.284, 1340-1344pp, 1999
- [3] Andrew Minett et al., "Nanotube actuators for nanomechanics". Current Applied Physics, 61-64pp, 2002