

탄소나노튜브/ V_2O_5 나노선 헤테로 구동소자 특성연구

MWCNTs/ V_2O_5 Nanowire Hetero-junction Actuator Devices

이강호^{1,a}, 이성민¹, 박소정¹, 허정환¹, 김규태¹, 박성준², 하정숙²

(Kang-Ho Lee^{1,a}, Seong-Min Yee¹, So-Jeong Park¹, Jung-Hwan Huh¹, Gyu-Tae Kim¹,
Sung-Joon Park², and Jeong-Sook Ha²)

Abstract

Hetero-junction sheet actuator composed of carbon nanotubes and V_2O_5 nanowires were demonstrated in a bimetal configuration. The successive filtration of V_2O_5 nanowire solution followed by carbon nanotube dispersed water solution in the same way produced a dark-gray colored sheet. A significant actuation was observed in sodium chloride electrolyte solution with a bending direction to the carbon nanotube side at the positive bias voltage against the copper counter-electrode. As the frequency of the applied voltage increased, the amplitudes decreased, indicating a rather slow response of the hetero-film actuator in the electrolyte solution. The hybrid structure enabled an easy fabrication of the film actuator with the enhanced efficiencies.

Key Words : Actuator, V_2O_5 , CNT, Nanowire

1. 서론

전기적인 에너지를 기계적인 에너지로 전환해 주는 장치인 actuator가 높은 응답속도와 고효율, 낮은 구동전압, 높은 일률을 갖도록 만드는 것은 robotics, optical fiber 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[1-3], 나노선들을 이용하여 sheet 형태의 구동기를 구현하고 이를 통해 기존의 강유전체에 기

반을 둔 구동기보다 향상된 성능을 이끌어 내고자 하는 노력이 계속되고 있다[4,5].

본 연구에서는 MWCNTs(다결탄소나노튜브)와 V_2O_5 나노선들의 이중접합을 통하여 sheet 형태의 구동기를 제작하고, 그 구동특성에 대하여 연구하였다.

2. 실험

2.1 시료의 준비

SDS(Sodium Dodecyl Sulphate) 1 g, MWCNTs 0.1 g(Aldrich), D.I. water 100 ml를 비커에 섞은 후 10시간동안 sonication하여 균일하게 분산시킨 MWCNTs를 준비하였다.

Ammonium-meta-vanadate 0.4 g, Acidic Ion Exchanger 5 g, D.I. Water 3 ml를 비커에 섞어 60 °C에서 6시간 보관후, 상온에서 1주일 동안 숙성시켜 V_2O_5 나노선을 성장시켰다[6].

2.2 Sheet actuator 제작

각각 충분한 길이로 성장된 V_2O_5 용액 15 ml와 MWCNTs 용액 15 ml을 준비하여, 차례로 0.1 μm

1. 고려대학교 전기공학과 나노소자연구실
(서울시 성북구 안암동5가)
2. 고려대학교 화공생명공학과 표면나노연구실
a. Corresponding Author : cozyhero@gmail.com
접수일자 : 2005. 9. 13
1차 심사 : 2005. 12. 16
심사완료 : 2006. 2. 7

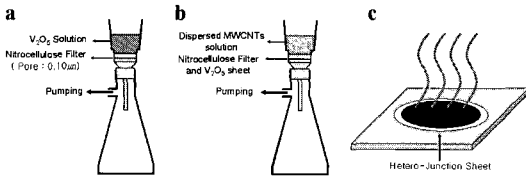


그림 1. Sheet actuator 제작. a. V_2O_5 여과, b. MWCNTs 첨가, c. Baking.

Fig. 1. Sheet actuator fabrication. a. V_2O_5 filtration, b. Addition of MWCNTs, c. Baking.

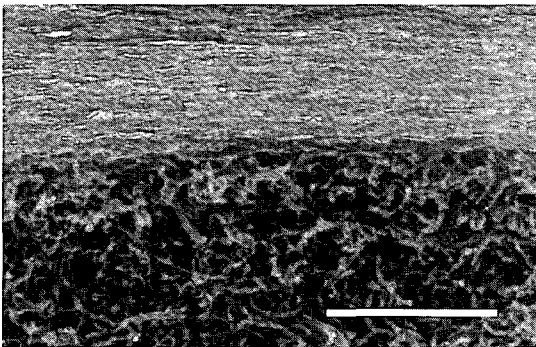


그림 2. Sheet actuator의 MWCNTs- V_2O_5 간 계면의 SEM 이미지. 위쪽이 MWCNTs면이고 아래쪽이 V_2O_5 면이며 스케일바는 1 μm 를 나타낸다.

Fig. 2. SEM micrographs of the MWCNTs- V_2O_5 interface of sheet actuator. The upper side is V_2O_5 and lower side is MWCNTs. The scale bar represents 1 μm .

pore size Nitrocellulose Easter(NCE)를 통과시킨 뒤 80 $^{\circ}C$ 의 오븐에서 12시간 동안 baking하여 수분 및 잔존물질을 제거하였다(그림 1). 그림 2는 제작된 이중필름의 접합면을 보여주는 전자현미경 이미지이다.

2.3 실험방법

이와 같이 제작한 MWCNTs/ V_2O_5 hetero-junction sheet에 구리전극을 부착 및 고정하여 전해질(1M NaCl)에 담근 뒤, 적절한 교류전원을 인가(HP3562A dynamic signal analyzer와 Tektronics CFG253 3 MHz function generator)하

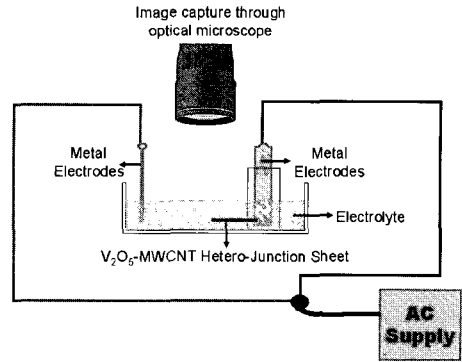


그림 3. 측정장치 개요도.

Fig. 3. Schematics of measurement system.

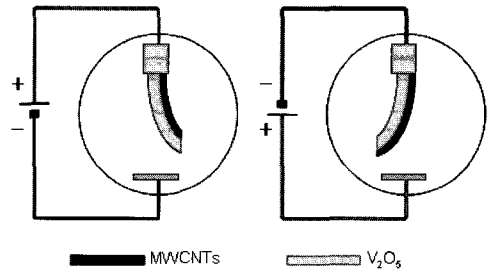


그림 4. Actuation의 방향성과 인가전압의 상관관계.

Fig. 4. Schematics of the actuation in an electrolyte solution depending on the polarity of the bias voltage.

여 actuation을 관찰하였다. 변위의 정량적인 측정을 위해 actuator를 CCD모듈을 탑재한 광학현미경(Olympus BX-41M)으로 관찰, 정지영상을 얻어 이미지분석을 하였다(그림 3).

제작된 actuator에 인가하는 교류전원의 크기와 주파수, 파형을 변화하여 각각의 의존성을 살펴보고, 전해질의 종류와 농도에 따른 특성을 비교하였다. 또한 적절한 조건에서 V_2O_5 nanofiber sheet actuator의 변위를 대조군으로 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

전해질 용액 속에서 actuator에 전압을 인가했을 때 actuator는 MWCNTs 방향으로 휘었으며, 반대로 구리로 이루어진 counter electrode에 전압을 인가하였을 때에는 V_2O_5 방향으로 휘었다(그림 4).

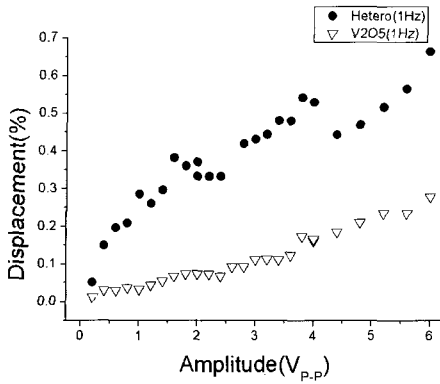


그림 5. 구동시 전압에 따른 변위.
Fig. 5. Voltage dependence of the displacement.

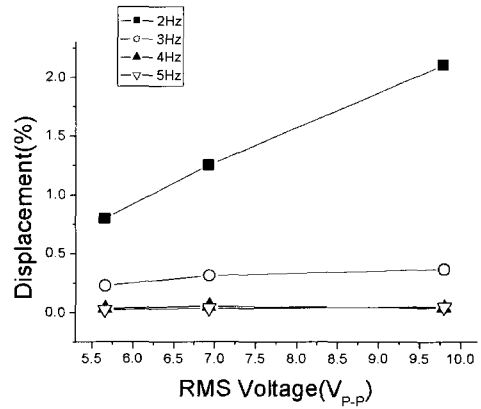


그림 7. 인가전원의 파형에 따른 변위.
Fig. 7. Waveform dependence of the displacement.

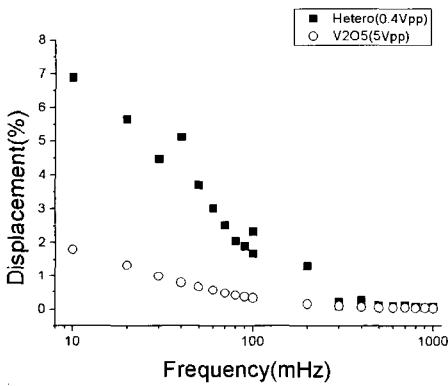


그림 6. 주파수에 따른 변위.
Fig. 6. Frequency dependence of the displacement.

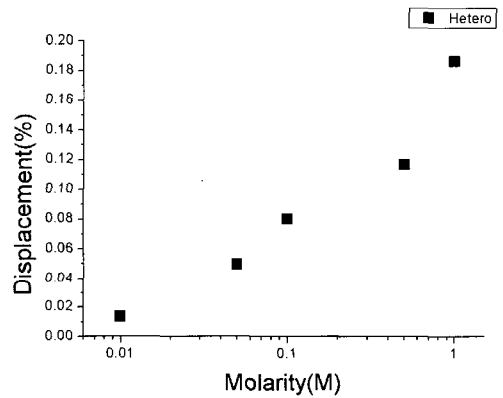


그림 8. 변위의 전해질 농도 의존성.
Fig. 8. Concentration dependence of the displacement.

이미지 분석을 통해 얻어진 actuation의 진폭 변위를 sheet의 길이에 대한 상대적인 양으로 나타내면 다음과 같다(그림 5).

3.1 전압 의존성

제작된 actuator는 인가된 전압의 크기에 비례하여 그 변위가 선형적으로 증가함을 알 수 있다.(그림 5) 실험결과가 완전히 선형적이라고 가정한다면, hetero-junction sheet actuator의 그래프는 0.10595 %/V_{P-P}의 기울기를 가지고 있는 반면 V₂O₅ sheet actuator의 그래프는 0.0269 %/V_{P-P}의 기울기를 가지고 있어 약 4배 정도 큰 변위를 보여주고 있다.

3.2 주파수 의존성

주파수가 증가함에 따라 구동속도는 증가하였으나 변위는 오히려 감소하였다(그림 6). 이와 같이 변위가 주파수에 반비례하는 결과는 나노선에 교류전원을 가하면 전해질 내의 이온이 potential에 따라 나노선에 흡착되거나 해리되어 길이방향의 팽창을 일으킨다는 기존 이론에 비추어볼 때, 나노선과 전해질간의 이온교환속도가 증가하는 주파수를 따라가지 못하여 일어나는 것으로 생각된다.

변위가 선형적으로 감소하는 구간으로 한정하면 그 감소하는 기울기는 각각 -5.28 %/decade, -1.50 %/decade를 갖는다.

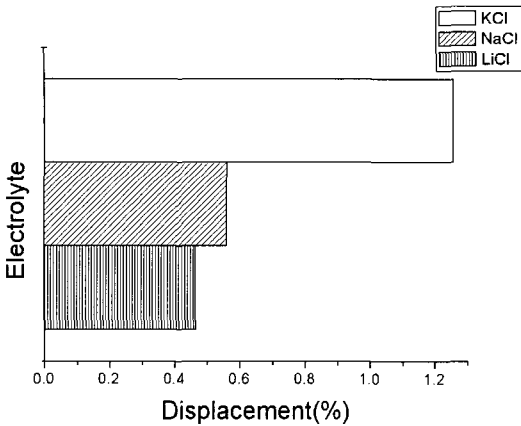


그림 9. 전해질 종류에 따른 변위.

Fig. 9. Displacement depending on the electrolytes.

3.3 인가전원의 파형에 따른 변위

교류전원의 파형을 방형파, 사인파, 삼각파로 변화시키자 주파수 3 Hz에서는 0.370 %, 0.315 %, 0.230 %의 변위를 보여주었고, 5 Hz에서는 0.051 %, 0.039 %, 0.028 %의 변위를 각각 보여주었다. 이는 각 파형의 실효값(1:0.707:0.577)에 근사하는 결과로 여겨진다(그림 7).

3.4 전해질 특성에 따른 변위

전해질의 농도가 감소함에 따라 변위가 감소하였으며 이는 나노선에 흡착, 해리될 수 있는 이온들의 수가 줄어들기 때문으로 생각된다. 반면 약 1 M 이상의 농도에 대해서는 변화가 없었다(그림 8).

그림 9에서는 전해질의 종류를 달리하였을 때 전해질 이온의 크기에 비례하는 결과를 보여준다. 이는 이온이 흡착, 해리되어 나노선의 직접적인 길이변화를 가져온다는 기존 이론을 뒷받침한다.

4. 결론

본 연구에서는 electromechanical actuator의 일종인 MWCNTs/V₂O₅ 이중접합 구동기를 제작하였고 그 구동특성을 알아보기 위해 이미지 분석을 통하여 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 정도가 결정되는 것으로 생각된다.

이미지 분석결과, 구동기의 변위는 인가된 전압의 크기에 비례하여 선형적으로 증가하였고, 전압 실효값의 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

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

참고 문헌

- [1] A. Minett, J. Fraysse, G. Gang, G.-T. Kim, and S. Roth, "Nanotube actuator for nanomechanics", *Curr. Appl. Phys.*, Vol. 2, No. 1, p. 61, 2002.
- [2] J. S. Lee, S. K. Sim, B. D. Min, K. A. Cho, H. S. Kim, and S. S. Kim, "Effect of the coating on the structure and optical properties of GaN nanowires", *Trans. EEM*, Vol. 5, No. 3, p. 113, 2004.
- [3] J. S. Lee, S. K. Sim, B. D. Min, K. A. Cho, and S. S. Kim, "Structural and optoelectronic properties of SnO₂ nanowires", *Trans. EEM* Vol. 5, No. 3, p. 93, 2004.
- [4] G. Gu, M. Schmid, P.-W. Chiu, A. Minett, J. Fraysse, G.-T. Kim, S. Roth, M. Kozlov, E. Muñoz, and R. H. Baughman, "V₂O₅ nanofibre sheet actuators", *Nature Materials*,

Vol. 2, No. 5, p. 316, 2003.

- [5] R. H. Baughman, C. Cui, A. A. Zakhidov, Z. Iqbal, J. N. Barisci, G. M. Spinks, G. G. Wallace, A. Mazzoldi, D. De Rossi, A. G. Rinzler, O. Jaschinski, S. Roth, and M. Kertesz, "Carbon nanotube actuators", *Science*, Vol. 284, No. 5418, p. 1340, 1999.
- [6] S. J. Park, J. S. Ha, Y. J. Chang, and G. T. Kim, "Time dependent evolution of vanadium pentoxide nanowires in sols", *Chem. Phys. Lett.*, Vol. 390, No. 1-3, p. 199, 2004.
- [7] 양상식, 김근영, "테마기획 / 액추에이터 : 초소형 펌프에 응용 가능한 구동기", *전기전자재료학회지*, 14권, 2호, p. 35, 2001.