

전기적 응용을 위한 바나듐옥사이드 나노선/폴리비닐 알코올 복합체 제작

Fabrication of V_2O_5 Nanowire/PVA (Polyvinyl Alcohol) Composites for the Electric Applications

이재우*, 이강호*, 김규태**

Jae-Woo Lee*, Kang-Ho Lee*, Gyu-Tae Kim**

Abstract

V_2O_5 nanowire / polyvinyl alcohol (PVA) polymer composite fibers were fabricated by a new simple method. The reaction of PVA and acetone facilitates the formation of the polymer membrane which can be used to make the fiber. Composite fiber is percolative in the conductance because of the low percolation threshold in V_2O_5 nanowire networks. The fiber composite can be applied to the electromagnetic shielding originating from the conductive nature.

요약

V_2O_5 나노선/폴리비닐 알코올(PVA) 고분자 복합체를 나일론 제조법을 응용하여 제작하였고 전기적 특성을 연구하였다. PVA가 아세톤, 에탄올, 메탄올 등의 벤젠기와 반응하여 얇은 막을 형성하는 것을 이용하여 나일론 섬유 제작방법과 유사하게 실타래를 감아올려 나노선 섬유가 섞인 폴리머 섬유를 만들었다. 폴리머-나노선 복합체는 내부에서 전도성이 있는 V_2O_5 나노선 다발이 네트워크를 형성하기 때문에 전자기장을 차폐할 수 있는 고분자 섬유 등에 적용할 수 있다.

Key words : V_2O_5 , polyvinyl alcohol (PVA), percolation network, hysteresis

1. 서론

1차원 형태의 나노선 구조를 갖는 물질들에 대한 연구는 양자 역학적 특성에서부터 오는 특이한 성질들에 의해 많은 관심을 받아 기초 연구가 진행되어왔다. 근래에는 이러한 나노선들을 이용하여 다양한 응용 소자를 제작하는 데 초점을 맞춘 연구도 활발하다. 예를 들어 탄소나노튜브(carbon nanotube)는 매우 좋은 반도체 특성 및 전도성을 이용한 단일선 트랜지

스터 연구[1]를 시작으로, 선택적 패터닝을 이용한 수직성장 등을 이용한 전계방출 소자[2] 및 나노튜브 네트워크를 이용한 집적회로[3] 등에 대한 연구가 보고되었으며, ZnO 나노선의 경우 광학적 특성을 이용한 광 트랜지스터[4] 및 태양전지[5] 외에도 피에조 특성을 이용한 나노 제네레이터[6] 등의 연구도 발표되었다. V_2O_5 는 황산의 제조에 있어 촉매로 사용되어왔으며 전지의 전극으로도 알려져 있다. 고온공정 없이 대량으로 나노선을 제작할 수 있기 때문에[7] 나노선 소자로써 응용이 될 경우 손쉽게 확장될 수 있다는 특징을 가지고 있다. 반도체 특성[8] 및 헬륨에 대한 전기적 반응성[9]도 나타나서 본 연구에서 발명한 V_2O_5 나노선이 포함된 폴리머 합성섬유를 만드는 방법을 시연하고 전기적 응용을 위한 특성조사를 진행하였다.

* 高麗大學校 電氣電子 工學部

(School of Electrical Engineering, Korea University)

** 교신저자 (Corresponding author)

이 논문은 2008년도 2단계 두뇌한국(BK)21 사업에 의하여 지원되었음.

II. 본론

1. V₂O₅/PVA 합성 섬유 제작

가. V₂O₅/PVA 섬유 제작

그림1은 V₂O₅ 나노선과 PVA를 이용한 나노선 합성 섬유를 만드는 모식도이다. Ammonium meta-vanadate와 acidic ion exchange resin (시그마 알드리치 코리아)를 섞어서 deionized water에 60°C에서 6시간 유지시킨 뒤 상온에서 일주일간 보관하여 V₂O₅ 나노선을 합성시켰다. V₂O₅ 용액을 다룰 때는 충격에 주의하여야 한다. 용액이 흔들리게 되면 나노선간의 엉킴 현상이 매우 심해지기 때문에 용액 자체가 물과 나노선으로 분리되어버리기 때문이다. 이후 분말형태의 PVA를 deionized water에 섞어 90°C에서 4시간동안 교반기로 풀어준다. PVA 분말이 모두 녹으면 상온으로 온도를 낮춘 뒤 V₂O₅ 나노선 용액과 섞어준다. PVA 용액이 점도가 높기 때문에 나노선 용액과 무리하게 섞기 위해 세계 흔들어 줄 경우 나노선이 용액에 고르게 풀어지지 않고 엉켜버리게 되므로 주의하여야 한다. V₂O₅ 나노선이 섞인 PVA 용액을 넓은 비커에 넣고 용액 위에 아세톤을 천천히 붓게 되면 아세톤과 PVA 용액 사이에 하얀 막이 생긴다. 이 얇은 막을 핀셋을 이용하여 천천히 잡아 들어 올리면 나노선이 포함된 폴리머 섬유가 따라 올라오게 된다. 상온에서 12시간 건조하여 수분을 제거하면 V₂O₅/PVA 섬유가 완성된다.

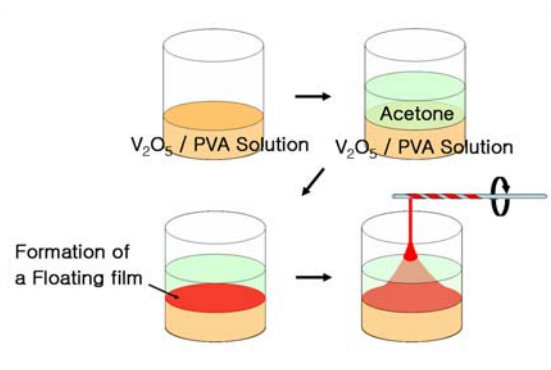


Fig. 1. Fabrication process of the V₂O₅ nanowire / PVA Composite Fiber

그림 1. V₂O₅ 나노선이 포함된 PVA 섬유 제작 방법

나. V₂O₅/PVA 분산조건

V₂O₅ 나노선은 충격에 의해 쉽게 나노선끼리 얽혀버리기도 하지만 PVA 용액의 농도와 V₂O₅ 나노선 용액의 농도에 따라 나노선이 고르게 분산이 되기도, 안되기도 한다. V₂O₅나노선이 고르게 분산되는 농도 조건을 찾기 위하여 200배 광학 현미경 이미지를 이용하여 그림2에 보이는 상평형도 (phase diagram)을 제작하였다. x축이 V₂O₅ 나노선 용액이 V₂O₅/PVA 전체 용액에서 차지하는 부피 비율이고 y축은 PVA를 물에 녹일 때의 비율이다. PVA 수용액의 농도가 4wt% 이하에서는 나노선이 뭉치는 모습이 많이 보이지만 5wt%에서는 고르게 분산된 모습을 볼 수 있다. 따라서 PVA 섬유에 나노선을 고르게 분산시키기 위하여 PVA 5wt% 수용액에, V₂O₅ 용액이 전체의 1wt%가 되도록 하여 섬유를 제작하였다.

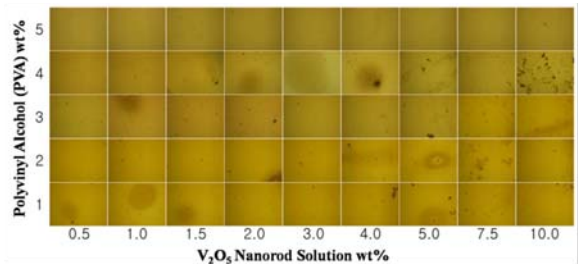


Fig. 2. Phase diagram for good dispersion condition

그림 2. V₂O₅가 엉키지 않는 분산 농도 조건을 잡기 위한 phase diagram

다. Percolation Network

그림3에 보이는 원자 현미경 (Atomic Force Microscopy : AFM) 사진에서 V₂O₅ 나노선이 형성하는 percolation network를 볼 수 있다. V₂O₅ 나노선의 폭은 수 nm정도이지만 나노선 내부 전하에 의한 분극현상에 의해 선의 끝과 끝이 마주보게 되는 현상과 반데르발스의 힘에 의해 그림3과 같은 나뭇가지 형태의 네트워크를 형성하게 된다. PVA는 절연물질이기 때문에 섬유로 만든다 해도 전도성을 띄지 않는다. 하지만 V₂O₅/PVA 섬유는 반도체 특성을 갖는 V₂O₅ 나노선들의 네트워크를 통하여 전도성을 갖는다.

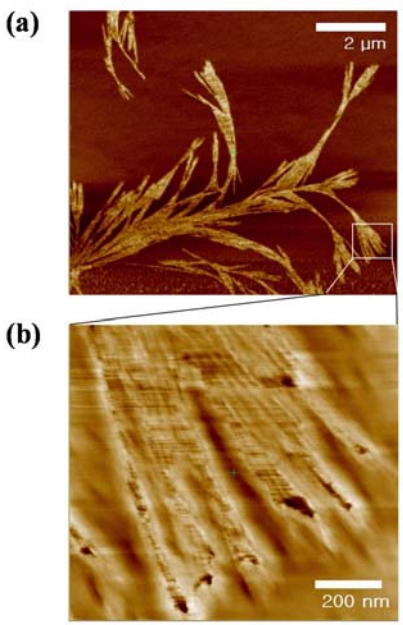


Fig. 3. Branch of the V₂O₅ nanowires / PVA Composite network

그림 3. PVA에 섞인 V₂O₅ 나노선의 네트워크 AFM 이미지

2. 전기적 특성 측정

V₂O₅/PVA 합성 섬유는 전기적 특성을 알아보기 위하여 HP Agilent 4140B pA Meter/ DC Voltage Source 를 이용하여 전압/전류 특성을 측정하였다. 그림4 (b)와 같이 1.5cm 길이의 섬유 양 끝에 전극을 연결하고 금속상자 안에 넣어 외부의 전자기적 잡음으로부터 독립된 상태로 측정을 하였다. 그림4 (c) 위의 그래프에 전압/전류 특성을 나타내었다. 전압이 증가할수록 전류가 증가하다가 일정 전압을 넘어가면 다시 전류가 감소하는 현상이 보였으며 다시 전압을 감소시켜 갔을 때는 전류가 계속해서 감소하는 일종의 히스테리시스 현상을 보였다. 또한 측정을 반복할수록 전류가 갑자기 감소하는 전압이 달라지고 그 피크 값이 점점 높아지는 현상을 보였다. 전류가 갑자기 감소하는 부분의 전압은 첫 측정 이후로부터는 점점 증가하는 모습을 보였다. 이러한 현상은 V₂O₅ 나노선 네트워크에서 전류가 흐르는 경로가 측정할 때마다 달라지기 때문에 나타나는 현상인데, 측정 횟수가 증가할수록 전하의 전도에 새로운 경로가 생겨나기 때문이기도 하다. 히스테리시스 나타나는 현상

은 내부의 양성자가 일정 크기 이상의 전기장에 의하여 쏠리게 되면 전하의 흐름에 방해가 주게 되어 전류 레벨이 감소하고 이후에 전압을 감소시켜도 양성자의 되 쏠림이 빠르게 일어나지 않기 때문에 히스테리시스가 나타나게 된다. 이러한 현상에 필요한 전력을 계산하기 위하여 그림4 (c) 상단의 전압/전류 특성 그래프를 히스테리시스 영역에 대하여 적분을 하여 (P=I · V) 그림4 (c) 하단에 나타냈다. 측정을 반복함에 따라 필요전력이 증가하는 모습을 보였으며 증가하는 추세는 감소함을 보였다. 이는 측정이 반복됨에 따라 생성되는 전하 이동의 경로가 일정하게 고정되어가기 때문이다.

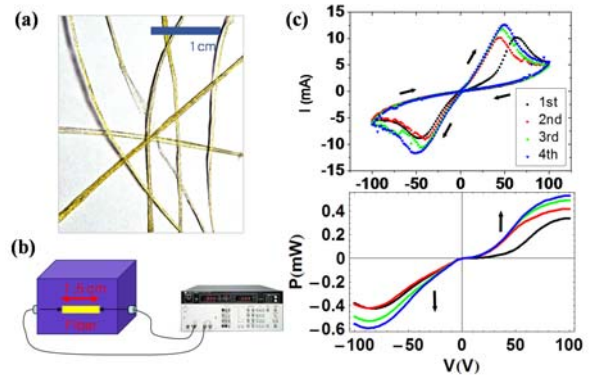


Fig. 4. (a) V₂O₅/PVA composite fiber (b) Measurement system (c) I-V characteristics of the fiber.

그림 4. (a)V₂O₅/PVA 합성 섬유 이미지(b) HP 4140B를 이용한 2단자 측정 (c) 측정된 전압/전류 특성 결과

III 결론

V₂O₅ 나노선이 포함된 PVA 용액을 이용하여 폴리머 합성 섬유를 만들었다. V₂O₅/PVA 섬유를 뽑아내는 방법은 매우 간단하여 추후 대량 생산에도 유리할 뿐더러 매우 특이한 전기적 특성을 이용하여 정전기 방지 및 전자기 차폐용 폴리머 섬유 원단 등을 제작하는데 이용될 수 있으리라 본다.

참고문헌

[1] Ali Javey, Jing Guo, Qian Wang, Mark Lundstrom, Hongjie Dai, "Ballistic carbon nanotube field-effect transistors", Nature, 424, 654, 2003

- [2] W. I. Milne, K. B. K. Teo, G. A. J. Amaratunga, P. Legagneux, L. Gangloff, J.-P. Schnell, V. Semet, V. Thien Binh, O. Groening, "Carbon nanotubes as field emission sources", *J.Mater. Chem.*, 14, 933, 2004
- [3] Yuhei Hayamizu, Takeo Yamada, Kohei Mizuno, Robert C. Davis, Don N. Futaba, Motoo Yumura, Kenji Hata, "Integrated three-dimensional microelectromechanical devices from processable carbon nanotube wafers", *Nature Nanotech.*, 3, 289, 2008
- [4] Lukas Schmidt-Mende, Judith L. MacManus-Driscoll, "ZnO-nanostructures, defects, and devices", *Materialstoday* 10(5), 40, 2007
- [5] Lori E. Greene, Matt Law, Benjamin D. Yuhas, Peidong Yang, "ZnO-TiO₂ core-shell nanowire/P3HT Solar Cells", *The J. Phys. Chem. C*, 111, 18451, 2007
- [6] Yong Qin, Xudong Wang, Zhong Lin Wang, "Microfibre - nanowire hybrid structure for energy scavenging", *Nature*, 451, 809, 2008
- [7] Yu Jin Chang, Byung Hyun Kang, Gyu Tae Kim, Sung Joon Park, and Jeong Sook Ha, "Percolation network of growing V₂O₅ nanowires", *Appl. Phys. Lett.* 84 (26), 5392-5394, 2004
- [8] G. T. Kim, J. Muster, V. Krstic, J. G. Park, Y. W. Park, S. Roth, M. Burghard, "Field-effect transistor made of individual V₂O₅ nanofibers", *Appl. Phys. Lett.* 76(14), 1875, 2000
- [9] Han Young Yu, Byung Hyun Kang, Ung Hwan Pi, Chan Woo Park, Sung-Yool Choi, Gyu Tae Kim, "V₂O₅ nanowire-based nanoelectronic devices for helium detection", *Appl. Phys. Lett.* 86, 253102, 2005

저 자 소 개

이 재 우 (학생회원)



2006년 : 고려대학교 전기전자전
과공학부 졸업 (공학사)
2006년 3월~현재 : 고려대학교
대학원 전자전기공학부 석·박사
통합과정
<주관심분야> Advanced
Nanodevice & Electrical Trans

port

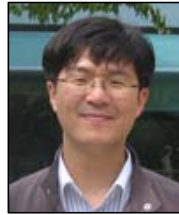
이 강 호 (비회원)



2005년 고려대학교 전기전자전과
공학부 졸업 (공학사)
2007년 고려대학교 대학원 전기
공학과 (공학석사)
2007년 3월~현재 : 고려대학교
대학원 전자전기공학과 (박사과
정)

<주관심분야> Funtionalized Nanomaterials

김 규 태 (비회원)



1992년 : 서울대학교 물리학과
졸업 (이학사)
1996년 : 서울대학교 대학원 물
리학과 (이학석사)
2000년 : 서울대학교 대학원 물
리학과 (이학박사)
2002년 3월~현재:고려대학교교수

<주관심분야> Applied Solid State Physics &
Electrical Engineering