

V₂O₅ 나노선의 길이에 따른 스며들기 모형 구현

장유진, 강병현, 김규태, 박성준*, 하정숙*

고려대학교 전기공학과, 고려대학교 화공생명공학과*

Percolation network of growing V₂O₅ nanowires

Yu Jin Chang, Byung Hyun Kang, Gyu Tae Kim, Sung Joon Park*, and Jeong Sook Ha*

Department of Electrical Engineering, Korea University, Department of Chemical & Biological Engineering, Korea University*

Abstract

스며들기 현상을 알아볼 수 있는 간단하면서도 실질적인 방법을 고안하여, V₂O₅ 나노선의 스며들기 모형을 설명하였다. 상온에서의 ammonium metavanadate 용액에서 V₂O₅ 나노선은 성장초기단계에는 0.13 μ m/day의 성장속도로 길이가 길어졌으며, 3개월 평균은 약 0.03 μ m/day의 성장속도로 길이가 증가하였다. 스며들기 모델은 V₂O₅ 용액을 액체질소를 이용하여 급속히 냉각시킴으로써 얻을 수가 있었다. 약 합성후 7시간이 지난 후부터 전도도의 급속한 증가가 관찰되었으며, 나노선의 평균길이가 40nm정도에서 스며들기 효과의 임계치에 도달함을 확인하였다.

Key Words : nanowire, V₂O₅, percolation

1. 서론

나노선은 독특한 구조와 미래전자소자로서의 응용 가능성이 커서, 과학적인 관심이 매우 크다[1]. 탄소나노튜브가 저차원물리학적 관점 및 응용에 대한 많은 관심을 가지고 연구하고 있으나, 기하학적 구조 및 전자구조의 불균일성으로 응용연구에 장애가 되고 있다. V₂O₅ 나노선은 1.5nm \times 10nm의 균일한 기하학적 단면을 가지고 있어서 균일성의 측면에서 고려해 볼만 하다[2,3]. V₂O₅ 나노선은 용액상태의 간단한 과정을 통하여 쉽고, 대량생산이 가능하다[2,4]. 기하학적으로 정교한 조절이 나노선 연구에 가장 중요한 요소이며, 기판에서 수직 또는 수평 방향의 선택적 성장에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[5,6]. 낮은 스며들기 임계값을 가지는 섬유구조는 ITO(indium tin oxide)와 같은 전도성 기판 제작에 유용하다. 이러한 나노선 구조 응용에 관한 연구에서 합성의 하나로 나노선이 유력

한 대안으로 거론되고 있다. 이 논문에서는 V₂O₅ 나노선의 성장과 전도성의 나노선의 스며들기 효과를 측정할 수 있는 간단하고도 유용한 방법을 보고한다.

2. 실험

V₂O₅ 나노선은 ammonium metavanadate (NH₄VO₃)와 양이온 교환수지 (DOWEX50W \times 8-100)를 상온에서 증류수에 섞음으로써 얻을 수가 있다. V₂O₅ 나노선의 길이는 증류수에 바나듐 산의 농도증가로 길어진다고 알려져 있다. V₂O₅나노선의 성장속도를 확인하기 위하여, 나노선의 흡착을 도와주는 3-APS (3-aminopropyltriethoxysilane)을 전 처리한 실리콘 기판에 V₂O₅ 용액을 한 방울 떨어뜨렸다. 합성된 용액의 시간이 증가할 때, V₂O₅ 나노선의 길이를 AFM (atomic force microscope)에 의하여 관찰하였다. V₂O₅ 나노선의 스며들기 모

델은 그림1과 같은 간단한 실험 장치를 고안하여 알아보았다. 전류-전압 특성은 -4°C 로 일정한 온도의 냉동실에서 Keithely 2400 장비를 이용하여 측정하였다.

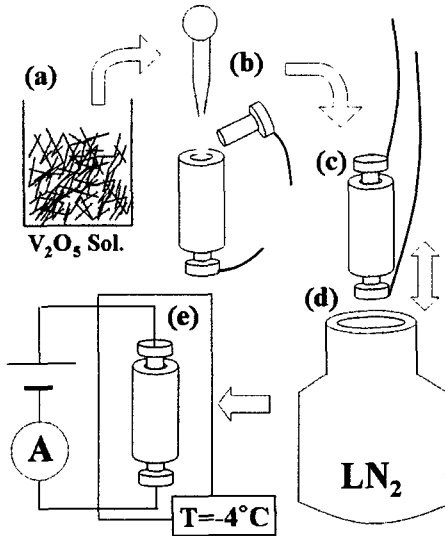


그림 1. V_2O_5 나노선의 스며들기 모델의 실험 장치

(a) 합성된 V_2O_5 용액 (b) 플라스틱 관에 $40\mu\text{l}$ 의 V_2O_5 용액을 넣는다. (c) 전선이 납땀이 된 나사로 양쪽을 고정한다. (d) 액체질소를 이용하여 급속 냉각을 시키다. (e) 전류소스원을 이용하여 만들어진 샘플의 전류 전압 특성을 측정한다.

3. 결과 및 고찰

그림2는 AFM으로 관찰한 시간에 따른 V_2O_5 나노선 길이의 변화를 보여주고 있다. 성장 시간이 갈수록 V_2O_5 나노선의 길이는 길어지고 있다. 또한 V_2O_5 나노선의 폭은 큰 변화가 없음을 알 수가 있다. 약 3일이 지난 후에 V_2O_5 나노선이 충분히 성장하였음을 확인하였다. 그림2 (h)는 AFM을 이용한 V_2O_5 나노선의 성장의 증가를 그렸다. 전체적인 성장 속도는 3일 이전에는 $0.13\mu\text{m}/\text{day}$ 이며, 100일 평균 성장 속도는 $0.013\mu\text{m}/\text{day}$ 이었다.

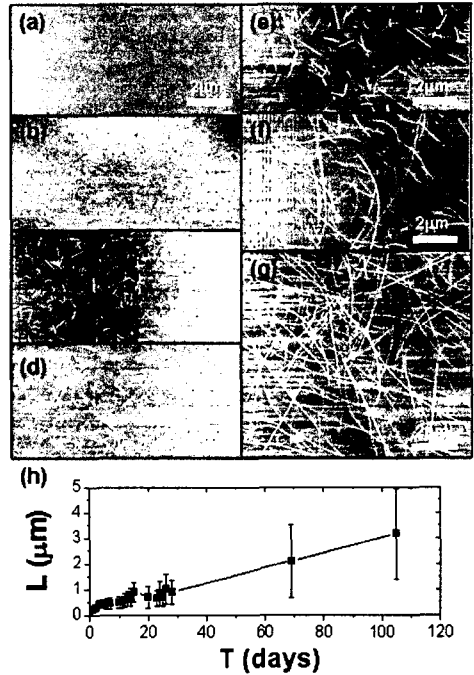


그림 2. 시간에 따른 V_2O_5 나노선의 AFM 이미지, (a) 합성직후 (b) 2일된 V_2O_5 나노선 (c) 5일된 V_2O_5 나노선 (d) 11일된 V_2O_5 나노선 (e) 24일된 V_2O_5 나노선 (f) 69일된 V_2O_5 나노선 (g) 105일된 V_2O_5 나노선 (h) 상온에서 측정된 시간에 따른 V_2O_5 나노선의 성장 곡선.

균일하게 조절할 수 있는 V_2O_5 용액을 얻은 후에, 그림1과 같이 실험 방법을 고안하여, 절연체 안에서 V_2O_5 전도성 나노선 네트워크의 스며들기 모형을 만들었다. V_2O_5 용액을 단면적과 길이가 일정한 테플론 캡슐에 채웠다. 다음으로 금속 볼트에 전선을 납땀한 후에 테플론 캡슐의 양면을 조였다. 절연체를 형성하기 위해 액체질소에 급속 냉각을 하였다. 증류수의 얼음에 의한 전도도는 거의 무시할만하며, 증류수 얼음 안에 존재하는 V_2O_5 나노선이 전기전도 네트워크를 형성한다고 생각하였다. 얼음이 녹은 것을 피하기 위해 다시 영하4도의 냉장고 안에다가 놓았고, 전류-전압 특성을 측정하였다. V_2O_5 단일 나노선의 전도도는 약 $0.5\text{S}/\text{cm}$ 로 알려져 있다[2,3]. 그림3은 얼려서 측정된, V_2O_5 나노선 네트워크의 전류-전압특성을 보여주고 있다. 또한 시간이 지날수록 높은 전도도를 보여줌을 알 수 있다. 왼쪽의 작은 그림을 보면 순수한 얼음

은 저항이 흐르지 않으며, V_2O_5 용액이 합성 직후부터 전류가 조금씩 흐르게 됨을 확인할 수가 있었다. 1일이 지나면서 저항이 더욱 뚜렷하였다. 그림 3의 아래쪽에 전류-전압 특성으로부터 계산된 전도도를 보여주고 있다.

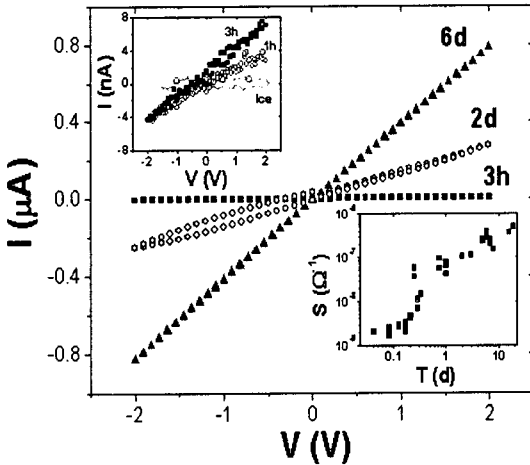


그림 3 시간에 따른 V_2O_5 나노선의 전도도의 변화 영하 4도에서 측정된 V_2O_5 나노선의 전류전압 특성 분포도이다. h와 d는 각각 시간과 일을 뜻한다. 왼쪽 위의 작은 그림은 반응초기의 시간에 따른 저항의 변화이다. 오른쪽아래의 작은 그림은 V_2O_5 나노선의 시간에 따른 전도도의 변화를 그린 것이다. 약 0.3일 쯤에서 급격한 전도도의 변화가 있음을 알 수 있다.

약 0.3일 쯤에 전도도가 급속하게 증가하였으며, 전체적인 전도도의 변화가 일반적인 스며들기 모형과 매우 유사함을 알 수가 있었다. 임계 농도 p_c 를 가지는 도체-절연체에서 전도도는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\sigma \propto \sigma_0 (p - p_c)^t \quad (1)$$

σ 는 전도도이고, σ_0 는 삽입하는 물질의 전도도이고, p 는 삽입하는 물질의 농도, t 는 차원이 없는 차수이다. $0.13 \mu\text{m}/\text{day}$ 성장하는 V_2O_5 나노선은 0.3일 쯤에 길이 40nm 폭 10nm로써, 4의 가로세로비를 가졌다. Munson-McGee의 계산에 의하면, 가로세로비가 4일 때, 스며들기 모형의 임계값 p_c 는 0.17이며, 위의 실험결과에 적용할 수 있었다[7]. 정확한 밀도를 조절하기는 어려웠으나, 스며들기 모형이 V_2O_5 나노선이 성장함에 따라 일어남을 알

수 있었다. 약 7시간 후에 V_2O_5 나노선의 가로세로비 4에서 $p_c=0.17$ 을 만족하였다. 간단하면서도 실질적인 스며들기 모형을 측정할 수 있는 실험 방법을 고안함으로써 절연체 안에서 도체의 전도도 현상이 스며들기 모델을 따름을 확인 하였다.

4. 결론

V_2O_5 의 나노선이 성장을 AFM을 이용하여, 관찰하였으며, 절연체속의 나노선의 스며들기 모형을 쉽게 측정할 수 있는 실험 장치를 고안하여, V_2O_5 나노선의 스며들기 모형과 V_2O_5 나노선의 성장에 따른 전도도의 변화를 관찰하였다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-042-C20017).

참고 문헌

- [1] Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Nanotube-Based Devices, Vol. 772 (Materials Research Society, Warrendale, 2003).
- [2] J. Muster, G. T. Kim, V. Krstic, J. G. Park, Y. W. Park, S. Roth and M. Burghard, Adv. Mater. 12, 420 (2000).
- [3] G. T. Kim, J. Muster, V. Krstic, J. G. Park, Y. W. Park, S. Roth and M. Burghard, Appl. Phys. Lett. 76, 1875 (2000)
- [4] J. Livage, Chemistry of Materials, 3, 578 (1991).
- [5] S. S. Fan, M. G. Chapline, N. R. Franklin, T. W. Tomblor, A. M. Cassell, H. J. Dai, Science, 283, 512 (1999).
- [6] Z. W. Pan, Z. R. Dai, Z. L. Wang, Science, 291, 1947 (2001).
- [7] S. H. Munson-McGee, Phys. Rev. B 43, 3331 (1991).