

반도체 탄소나노튜브의 산화열처리 효과

김좌연, 박경순*
호서대학교, *세종대학교

The Oxidation Effect of Semiconductor Carbon Nanotube

Jwayeon Kim, Kyungsoon Park*
Hoseo Univ. *Sejong Univ.

Abstract : Semiconductor carbon nanotube was grown on oxidized silicon wafer with Atmosphere Pressure Chemical Vapor Deposition (APCVD) method and investigated the electrical property after thermal oxidation at 300°C in air. The electrical property was measured at room temperature in air after thermal oxidation at 300°C for various times in air. Semiconductor carbon nanotube was steadily changed to metallic carbon nanotube as increasing of thermal oxidation times at 300°C in air.

Key Words : Carbon, Nanotube, Semiconductor, APCVD, Oxidation

1. 서 론

탄소나노튜브는 1991년 처음 S. Iijima가 발견한[1] 전기적, 기계적, 화학적 특성이 기존의 물질에서 볼 수 없었던 탄소 재료로서 지난 10년 동안 지대한 관심을 끌고 있는 물질이다[2]. 이 물질은 물리적 특성이 원자구조와 관계 지워지는 성질을 가지고 있다. 이러한 특이한 분자크기의 기계와 나노전자소자를 연결하여 제작할 수 있는 모듈을 만드는데 매우 유력한 것으로 기대되고 있다[3].

최근에는 peapod이라는 물질에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[4]. Peapod 제조 시 탄소나노튜브에 C₆₀나 자성물질을 침투시키기 위해서는 산화공정을 사용하고 있다. 따라서 산화공정을 사용하기 때문에 전자소자에 응용하기 위해서는 탄소나노튜브의 산화에 의한 전기적 특성 변화에 대한 정보가 필요하다.

본 연구에서는 APCVD를 이용해 성장한 반도체 탄소나노튜브를 성장하여, 300°C 정도의 낮은 온도에서 이 나노튜브를 공기 중에서 산화시킬 경우 시간에 따른 전기적, 구조적 특성을 조사하였다.

2. 실험

반도체 탄소나노튜브의 성장은 금속촉매와 석영튜브형의 APCVD 방법을 사용하여 300nm 두께의 산화막을 성장한 실리콘 웨이퍼 위에 성장하였다. 웨이퍼 위에 반도체 탄소나노튜브를 성장하기 전 Fe 금속 촉매 용액을 웨이퍼 위에 분사시켰다. 노의 온도는 910°C 정도로 만든 후 CH₄ 와 H₂ 가스를 사용하여 환원분위기에서 15분 동안 성장하였다.

나노튜브의 전극은 Cr(20nm)/Pt(50nm) 두께의 금속을 evaporation 방법으로 증착하였으며, 이때 전극 사이의 거리는 1.2μm이었다. 제작된 시편은 열처리하기 전, 300°C 대기에서 10분, 30분, 90분 동안 점차적으로 산화 열처리 시간을 증가시키면서 각각의 단계에서 전압을 -0.1에서

0.1V 까지 변형시켰을 때의 측정된 전류 값을 측정하였다. 또한 반도체 탄소나노튜브를 금속 탄소나노튜브와 구분하기 위하여 드레인과 소스 사이의 전압을 0.1V, 웨이퍼 뒷면을 게이트로 사용하여 -10V에서 10V까지 전압을 변화시키면서 전류 값 변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 반도체 탄소나노튜브 위에 전극을 형성한 AFM 형상이다.

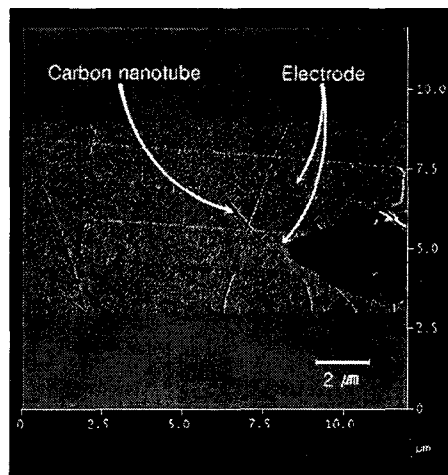


그림 1. 반도체 탄소나노튜브 위에 전극을 형성한 AFM 형상.

그림 2는 한 시편으로 열처리하기 전, 300°C 대기에서 10분, 30분, 90분 동안 점차적으로 산화 열처리 시간을 증가시키면서 각각의 단계에서 전압을 -0.1에서 0.1V 까지 변형시켰을 때의 측정된 전류 값이다. 산화열처리 초기에 급격히 저항이 증가하는 것은 산화열처리 동안, 대기 중에 존재하는 여러 이물질이 탄소나노튜브에 흡착되어 급격히 저항을 증가시키는 것으로 예상된다. 이는 탄소나노튜브

가 이물질에 매우 민감하다는 연구보고로 예측할 수 있다 [5].

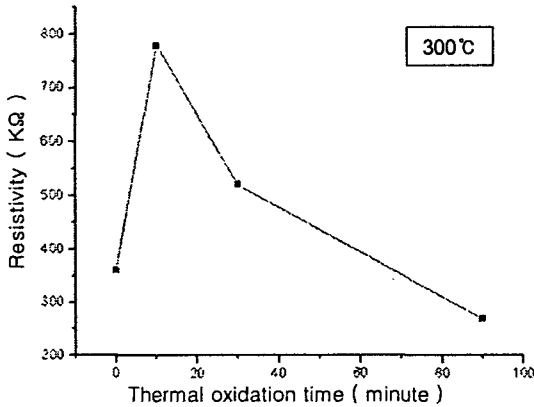


그림 2. 300°C 대기에서 산화열처리 시간에 따른 저항 값.

그림 3은 드레인과 소스 사이의 전압을 0.1V로 유지한 상태에서 게이트 전압을 -10V에서 10V 변화시켰을 때의 전류 값을 나타내고 있다.

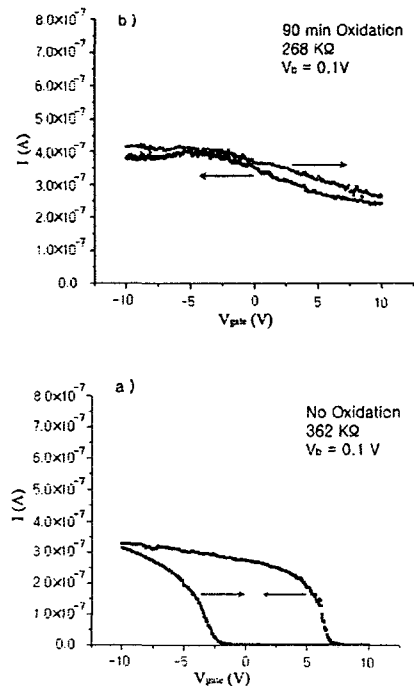


그림 3. V_{gate} 값에 따른 I_{DS} 값; a) 300°C 대기에서 90 분 동안 열처리 전과 b) 후.

산화열처리를 하지 않은 시편(그림 3 a)에서는 게이트 전압이 +10V 근처일 때 거의 전류가 흐르지 않다가 -10V로 게이트 전압을 이동할수록 전류 값이 증가하면서 포화되는 경향을 보이고 있다. 게이트 전압이 양극일 때에 비해서 음극에서 전류의 양이 많이 흐름을 나타내고 있는 것은, 탄소나노튜브의 전기적 특성이 홀을 캐리어로 갖는

p-형 반도체임을 알 수 있다. 역으로 게이트 전압을 -10V에서 다시 10V로 전압을 증가시킬 때의 전류 값은 게이트 전압을 10V에서 -10V로 변화시킬 때와 다른 문턱전압을 나타내고 있다. 이는 홀 전도에서 문턱전압의 변형은 게이트 전압을 분리하는 SiO_2 에 있는 불순물의 이동에 의한 것으로 예상된다.

같은 조건에서 10분, 30분 산화열처리를 한 후 측정된 전기적 특성은 산화열처리 시간이 증가함에 따라 탄소나노튜브는 반도체 특성에서 점차적으로 금속특성을 보였다. 산화열처리 시간이 증가할수록 저항 값이 감소하는 것은 탄소나노튜브에 O_2 의 도핑 양이 증가해 저항 값이 감소하는 것으로 예상된다. 그림 3 b)와 같이 열처리 시간을 90분으로 증가한 시편에서는 게이트 전압을 10V에서 -10V로 또는 -10V에서 10V로 변화시킬 때 + 전압을 가할 때의 전류는 - 전압을 가할 때의 전류에 비해서 값 차이가 크지 않음을 보이고 있다. 이는 반도체 성질을 보이고 있는 그림 3 a)와는 큰 차이를 보이고 있다. 즉 게이트 전압을 양극으로 가한 경우에도 전류의 흐름은 산화열처리 전 시편에 비해서 전류의 양이 매우 크고, - 전압을 가했을 때 정도의 전류 양을 나타내고 있다. 이는 산화열처리 전에는 반도체 특성을 갖는 탄소나노튜브라도 300°C, 대기에서 산화열처리하는 경우에 열처리 시간이 길어짐에 따라 금속의 특성을 갖는 나노튜브로 변형됨을 알 수 있다.

4. 결론

반도체 나노튜브는 APCVD 방법으로 CH_4 , Ar 가스와 H_2 환원분위기 가스에서 잘 성장하였다 반도체 나노튜브를 300°C 정도의 낮은 온도, 대기에서 산화 열처리하는 경우에 열처리 시간이 길어짐에 따라 금속의 탄소나노튜브로 변형되었다.

참고 문헌

- [1] S. Iijima, Nature Vol. 354, p. 18, 1991.
- [2] T.W. Odom, J.L. Huang, P. Kim and C.M. Lieber, J. Phys. Chem. B Vol. 104, p. 2794, 2001.
- [3] S.J. Tans, R.M. Verschueren and C. Dekker, Nature Vol. 393, p. 49, 1998.
- [4] T. Okajima and H. Shinohara, Physics B Vol. 323 (2002) p.zaki, K. Suenaga, K. Hirahara, Shunji Bandow, S. Ii 97, 2002.
- [5] E.T. Mickelson, C.B. Huffman, A.G. Rinzler, R.E. Smalley, R.H. Hauge and J.L. Margrave, Chem. Phys. Lett. Vol 296, p. 188, 1998.