

## NHFA 처리된 단일층 탄소나노튜브의 반도체성/ 금속성 비율 측정

### Evaluation of semiconducting/metallic ratio of single walled carbon nanotubes processed by NHFA

민경인<sup>1,2</sup>, 정현<sup>1,3</sup>, 김기강<sup>4</sup>, 최수봉<sup>5</sup>, 노희석<sup>2</sup>, 이영희<sup>4</sup>, 김종수<sup>1</sup>, 변지수<sup>1</sup>, 오명규<sup>1</sup>, 정문석<sup>1</sup>

<sup>1</sup>광주과학기술원 고등광기술연구소, <sup>2</sup>전북대학교 물리학과, <sup>3</sup>전북대학교 반도체학과,

<sup>4</sup>성균관대학교 물리학과, <sup>5</sup>서울대학교 물리학과

[mjeong@gist.ac.kr](mailto:mjeong@gist.ac.kr)

단일층 탄소나노튜브는 탄소원자 한 층이 말려서 이루어진 구조를 지니고 있다. 또한 직경이 수 나노미터의 크기로 이루어져 있으며, 전자가 원주방향으로 움직일 때 제한을 받게 되고, 낮은 차원의 양자 현상이 나타나게 된다. 이렇게 생긴 양자현상은 감긴 형태에 따라서 금속성 성질을 띠기도 하고, 반도체성 성질을 띠기도 한다. 이러한 특성들로 인해 탄소나노튜브는 다양한 분야에 응용될 수 있다[1]. 예를 들어 탄소나노튜브는 탄소 원자가 외벽에 모두 노출되어 있어 외부 물질과 반응을 할 경우 탄소나노튜브의 전도성이 크게 변하여 높은 감도를 지닌 센서로도 이용이 될 수 있으며, 탄소나노튜브의 좋은 전기적인 특성 때문에 나노소자로 응용이 많이 연구되어지고 있다. 그러나 이 연구는 아직 기초 단계에 있으며, 그 중 탄소나노튜브의 말리는 방향을 조절함으로써 반도체성 성질과 금속성 성질을 제어하는 연구는 핵심연구 중 하나라고 할 수 있다. 또한 이와 맞물려 반도체성 탄소나노튜브와 금속성 탄소나노튜브를 분리하는 연구 또한 매우 중요하다.

탄소나노튜브의 진동모드는  $100\sim 200\text{ cm}^{-1}$  근처에서 튜브의 원주방향으로 진동하는 숨쉬기 진동모드(Radial breathing mode : RBM),  $1300\text{ cm}^{-1}$  근처에 있는 탄소나노튜브의 결합과 불순물과 관련이 있는 진동 모드(D-band),  $1590\text{ cm}^{-1}$  근처에 있는 같은 탄소들의 결합에 의한 진동 모드(G-band)등이 있다. 이 중 RBM은 다른 진동모드와 비교해 탄소나노튜브의 직경에 많은 의존성을 보이고 있어 탄소나노튜브의 직경을 측정하는데 매우 유용하다. 또한 공명 라만산란 실험을 할 경우 레이저의 파장에 따라 다른 RBM 진동수가 관측된다. 이는 RBM의 진동수가 탄소나노튜브의 역수에 비례한다는 것을 감안하면 레이저 파장에 따라 다른 직경을 지닌 탄소나노튜브가 여기 된다는 것을 추측할 수 있다[2]. 또한, 이러한 현상은 탄소나노튜브의 말린 형태와 매우 밀접한 관계가 있어서 탄소나노튜브의 파장변조 공명라만산란 실험을 실행함으로써 반도체성 탄소나노튜브와 금속성탄소나노튜브의 공존성

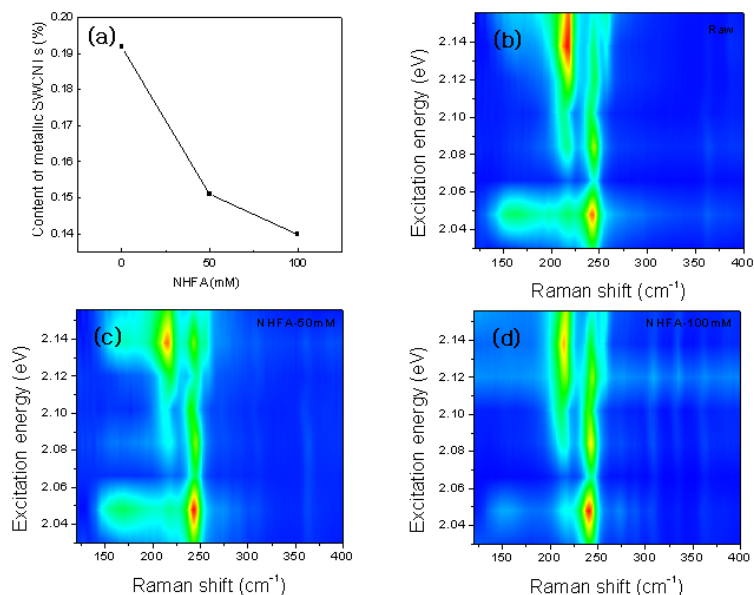


그림 1 (a) 흡수 스펙트럼들을 이용해서 얻어진 금속성 SWCNT 상대적인 함유량을 나타낸 그래프와 (b), (c), (d)는 각각 raw SWCNT, raw SWCNT에 50 mM NHFA 처리한 SWCNT, raw SWCNT에 100 mM NHFA 처리한 SWCNT에서 파장가변 공명 라만 산란 실험결과로부터 레이저 파장에 따른 RBM의 변화를 나타낸 이차원 그래프

서 파장변조가 가능한 Ring-dye 레이저를 이용해 5 nm씩 레이저의 파장을 변조시키며 공명 라만 산란 실험을 실시하였다. 그림 1-(a)는 흡수분광 실험을 통해서 얻은 스펙트럼을 이용해서 계산하여 얻은 그래프로 NHFA의 농도가 증가함에 따라서 금속성 SWCNT가 감소함을 알 수 있었다. 이는  $\text{NO}_2^+$ 가 선택적으로 금속성 SWCNT만을 공격하여 제거된 것으로 추측된다. 이를 검증하기 위하여 파장변조 라만 산란 실험을 했다. 그림 1-(b), (c), (d)에서 확인 할 수 있듯이  $200\sim 250\text{ cm}^{-1}$  부근에서  $E_{11}^M$ 와 관련된 RBM이 관측되었으며, 단일층 탄소나노튜브의 직경이 약 0.9~1.2 nm의 크기를 이루고 있음을 확인 할 수 있었다. NHFA의 농도가 증가함에 따라 1.1 nm 크기의 금속성 SWCNT 라만 세기가 감소됨이 관측되었다. 결론적으로 흡수분광 실험을 통해서 금속성과 반도체성 SWCNT의 상대적인 함유량을 계산할 수 있었고, 이를 파장변조 라만 산란 실험으로 검증하였다.

참고문헌

[1] R. Saito, G. Dresselhaus, and M.S. Dresselhaus, *Physical properties of Carbon Nanotubes* (Imperial College Press, London, 1998).  
 [2] C. Fantini, A. Jorio, M. Souza, M. S. Strano, M. S. Dresselhaus, and M. A. Pimenta, *Phys. Rev. Lett.* 93, 147406 (2004).

정도를 확인 할 수 있다.

HiPCo 방법에 의해서 단일층 탄소나노튜브를 합성하였고, 이 탄소나노튜브에 각각 50, 100 mM의  $\text{NO}_2\text{SbF}_6$  (nitronium hexafluoroantimonat : NHFA)처리를 하였다. NHFA의 농도에 따른 반도체성과 금속성 단일층 탄소나노튜브들의 상대적인 함유량을 측정하기위해서 흡수 분광 실험을 실시하였고, 또한 위 결과를 검증하기 위해서 570~620 nm 사이에