단일층 탄소나노튜브의 파장 변조 공명 라만 산란 연구

Tunable Resonant Raman scattering investigation of single-walled carbon nanotubes

민경인[1,2], 노희석[2], 김기강[3] 이영희[3], 김종수[1], 변지수[1], 정문석[1]
[1]광주과학기술원 고등광기술연구소, [2]전북대학교 물리학과, [3]성균관대학교 물리학과
mjeong@gist.ac.kr

단일층 탄소나노튜브는 탄소원자 한 층이 말려서 이루어진 구조이다. 이러한 탄소나노튜브는 Iijima와 Bethune등이 아크방전시 Fe. Ni등과 같은 전이금속을 첨가시켜 단일층 탄소나노튜브를 만들어냈다[1]. 단일층 탄소나노튜브는 직경이 수 나노미터의 크기를 이루고 있다. 이러한 크기를 지니고 있는 탄소나노튜브의 전자는 원주방향으로 움직일 때 제한을 받게 되고, 낮은 차원의 양자 현상이 나타나게 된다. 이러한 양자현상은 감긴 형태에 따라서 금속성 성질을 띠기도 하고, 반도체성 성질을 띠기도 한다. 이러한 특성들로 인해 탄소나노튜브는 다양한 분야에 응용될 수 있다[2]. 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 있다. 또한 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 100~200 cm^{-1} 근처에서 튜브의 원주방향으로 진동하는 숨쉬기 진동모드(Radial breathing mode : RBM), 1590 cm^{-1} 근처에 있는 같은 탄소들의 결합에 의한 진동 모드(G-band), 1300 cm^{-1} 근처에 있는 탄소나노튜브의 결함과 불순물과 관련이 있는 진동 모드(D-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[3]. 또한, 이러한 현상은 탄소나노튜브의 말린 형태와 매우 밀접한 관계가 있어서 탄소나노튜브의 파장변조 공명라만산란 실험을 실행함으로서 반도체성 탄소나노튜브와 금속성탄소나노튜브의 공존성 정도를 확인 할 수 있다.

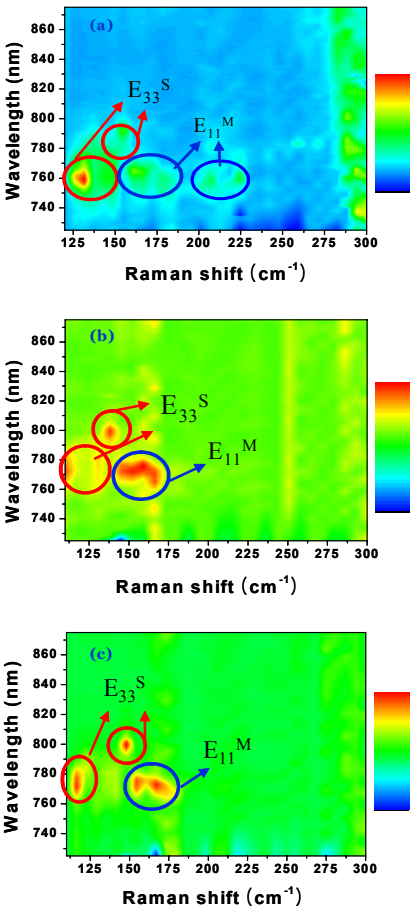

그림 1은 공명 라만 산란 실험을 통해서 얻은 스펙트라를 이용해서 레이저 파장에 따른 RBM의 변화를 나타낸 2차원 그래프. 그림 1-(a), (b), (c)는 pristine 탄소나노튜브, pristine 탄소나노튜브에 열처리한 탄소나노튜브, 열처리한 pristine 탄소나노튜브에 산처리한 탄소나노튜브에서 얻은 2차원 그래프.

본 연구에서는 아크방전법을 이용해서 성장한 단일층 탄소나노튜브를 700~900 nm 사이에서 파장변조가 가능한 cw-Ti:Sapphire 레이저를 이용해 5 nm씩 레이저의 파장을 변조시키며 공명 라만 산란 실험을 실시하였다. 그림 1은 공명 라만 산란 실험을 통해서 얻은 데이타를 이용해서 레이저 파장에 따른 RBM의 변화를 나타낸 2차원 그래프이다. 그림 1-(a), (b), (c)는 pristine 탄소나노튜브, pristine 탄소나노튜브에 열처리한 탄소나노튜브, 열처리한 pristine 탄소나노튜브에 산처리한 탄소나노튜브에서 얻은 공명라만산란 데이터의 2차원 그래프이다. 그림 1에서 확인 할 수 있듯이 100~200 cm^{-1} 부근에서 RBM이 관측되었으며, 단일층 탄소나노튜브의 직경이 약 1.03~1.19 nm의 크기를 이루고 있음을 확인 할 수 있었다. 또한 그림 1-(a), (b), (c) 모든 그림에서 단일층 탄소 나노튜브의 E_{33}^S와 E_{11}^M 밴드들과 관련이 있는 RBM이 관측되었다. 그림 1-(a), (b), (c)를 통해서 pristine 탄소나노튜브에 열처리를 하거나 산처리를 하게 되면 반도체성 탄소나노튜브에는 영향을 주지 않고, 금속성 탄소나노튜브 중의 직경이 작은 탄소나노튜브가 제거됨을 확인 할 수 있었다. 이 결과들을 바탕으로 공명 라만산란 실험이 단일층 탄소나노튜브의 chirality 분포를 검출하는 강력한 실험 도구중 하나임을 제시할 수 있다.

참고문헌

[1] S. Iijima, Nature 354, 56 (1991).; S. Iijima, T. Ichihashi, Naure 363, 603 (1993).

[2] R. Saito, G. Dresselhaus, and M.S. Dresselhaus, *Physical properties of Carbon Nanotibes* (Imperial College Press, London, 1998).

[3] C. Fantini, A. Jorio, M. Souza, M. S. Strano, M. S. Dresselhaus, and M. A. Pimenta, Phys. Rev. Lett. 93, 147406 (2004).