

탄소나노튜브의 주파수 의존적인 광학 상수 및 전도도 연구

Study of Frequency Dependent Optical Constants and Conductivities of Various Carbon Nanotubes

강철, 맹인희, 오승재, 손주혁, 안계혁*, 이영희*
 서울시립대학교 물리학과, 성균관대학교 물리학과*
 iron74@uos.ac.kr

기술이 발전함에 따라 사람들이 사용하는 도구는 그 사용 환경이 편리해지고 소형화되고 있다. 이로 인해 1-dimensional 물질들에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 물질 중 대표적인 것이 탄소나노튜브이다.^[1] 최근의 연구결과를 살펴보면 주로 단벽 탄소나노튜브의 응용에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 이는 단벽 탄소나노튜브에 대한 해석이 다중벽 탄소나노튜브에 비해 접근하기 쉬웠기 때문이다. 또한 실제적인 응용의 경우 단벽 탄소나노튜브와 다중벽 탄소나노튜브는 그 전기적 특성이나 여러 가지 면에서 격차가 커 이의 중간적인 특성을 갖는 탄소나노튜브를 제작하게 되었다. 이러한 대표적인 물질들이 바로 이중벽 탄소나노튜브와 얇은 다중벽 탄소나노튜브이다.^[2]

본 연구팀에서는 단벽, 이중벽 그리고, 얇은 다중벽 탄소나노튜브의 수백 GHz에서 수 THz 영역대어의 주파수 의존적인 전기-광학적 상수를 측정하였다. 본 연구에서는 측정 도구로 테라헤르츠 전자기파(이하 테라파) 분광학을 이용하였으며, 테라파는 그림 1에 나타낸 것처럼 스펙트럼 분포 상 마이크로파와 광파의 중간에 위치하며 파장으로는 0.3 mm 내외, 에너지로는 4 meV 내외에 해당하는 극 원적외선 영역의 전자기파이다.^[3,4]

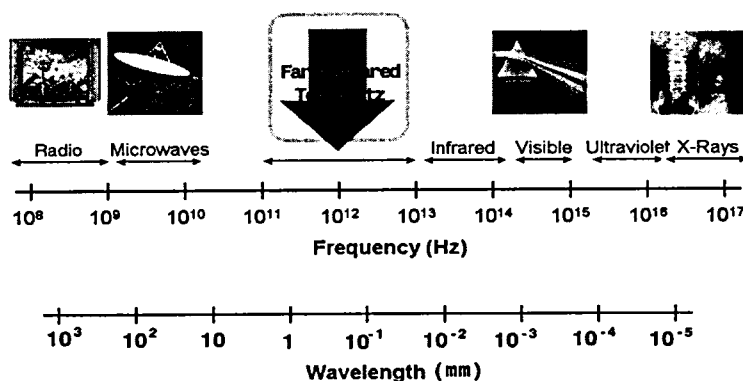
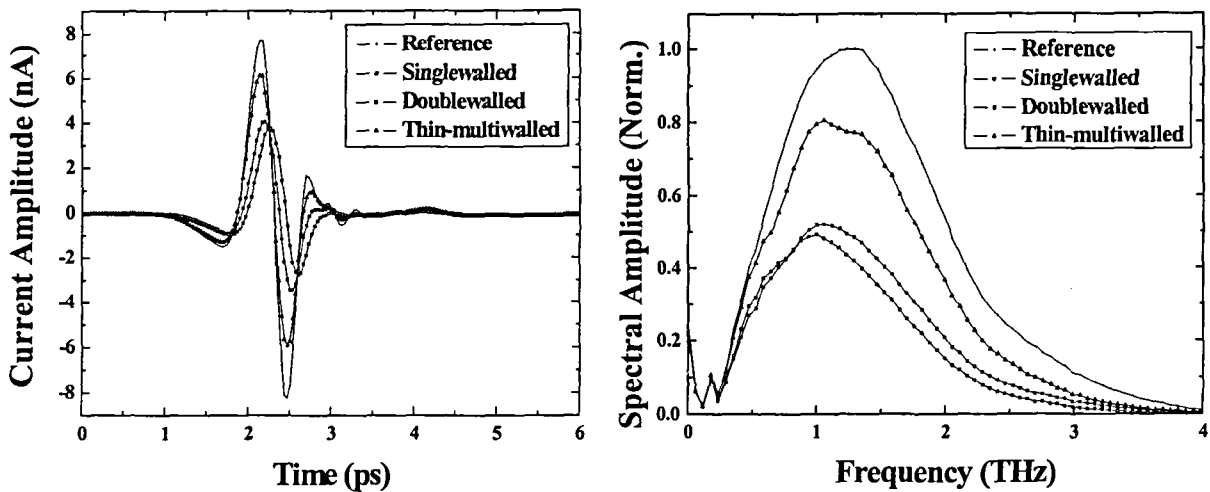


그림 1. 전자기파 스펙트럼.

실험용 샘플의 경우, 단벽 탄소나노튜브는 hipco 방법으로 제작된 CNI 사 샘플을 사용하였고, 이중벽 탄소나노튜브와 얇은 다중벽 탄소나노튜브는 CVD 방법을 이용하여 제작된 것을 사용하였다. 각 샘플들은 isopropyl alcohol에 넣어 sonication을 하여 bundling을 방지하였다. 탄소나노튜브 수용액을 20 × 10 × 0.5 mm의 형태의 테라헤르츠 주파수 영역대에서 투명한 non-doped Si 기판위에 흡착시켜

필름형태로 만들었다. 이렇게 만들어진 필름 샘플은 furnace에서 600℃로 30분간 아르곤 분위기에서 de-oxidation을 시켜주었다.

그림 2는 테라파 분광학을 이용하여 획득한 시간축 상의 측정값과 주파수축 상의 측정값이다. Reference 신호는 si 기판만을 투과한 것이며 각각 단벽 이중벽과 얇은 다중벽 탄소나노튜브 필름을 투과한 신호이다. 그림 2 (a)에서 보면 reference 신호에 대한 각 샘플의 시간 신호 분산과 왜곡이 보인다. 또한 이를 Fourier transformation을 이용하여 분석한 주파수 성분을 보면 reference 신호에 비해 spectral amplitude가 줄어든 것을 확인 할 수 있으며, reference 주파수가 4 THz까지 나타나는데 비해 각 샘플들은 3 THz 이후의 신호가 사라짐을 볼 수 있다. 이 시간축 상의 위상차와 주파수 성분의 차를 두께에 의존하는 상수 값으로 변형을 하면 각 탄소나노튜브 샘플의 광학상수와 전기적 상수를 구할 수 있다.^[5]



(a) 시간축 상 측정 신호

(b) FFT를 통해 변환된 주파수축 상 측정 신호

그림 2. 테라헤르츠 분광법에 의한 측정결과.

참고문헌

[1] M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, Ph. Avouris, "Carbon nanotubes synthesis, structure, and applications," Springer (2000).
 [2] H. J. Jeong, K. K. Kim, S. Y. Jeong, M. H. Park, C. W. Yang and Y. H. Lee, "High-yield catalytic synthesis of thin multiwalled carbon nanotubes", *J. Phys. Chem. B*, vol 108(46), 17695-17698 (2004).
 [3] D. Grischkowsky, S. Keiding, M. van Exter, and Ch. Fattinger, "Far-infrared time-domain spectroscopy with terahertz beams of dielectrics and semiconductors," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 7, 2006 (1990).
 [4] J.-H. Son, T. B. Norris, and J. F. Whitaker, "Terahertz electromagnetic pulses as probes for transient velocity overshoot in GaAs and Si," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 11, 2519 (1994).
 [5] T.-I. Jeon, K.-J. Kim, C. Kang, I. H. Maeng, , G. H. An, J. -H. Son, and Y. H. Lee. "Optical and electrical properties of preferentially anisotropic single-walled carbon-nanotube films in terahertz region," *J. Appl. Phys.* vol. 95, 5736 (2004).