

## 옥타데실아민(octadecylamine)을 이용한 탄소나노튜브의 선택적 분산

이광훈<sup>1</sup>, 박훈<sup>2</sup>, 채희백<sup>2\*</sup>

### Selective Dispersion of Carbon Nanotubes by Octadecylamine

Kwang-Hoon Lee<sup>1</sup>, Hoon Park<sup>2</sup> and Hee-Baik Chae<sup>2\*</sup>

**요약** 옥타데실아민을 사용하여 HiPco 단층벽 탄소나노튜브 중에서 반도체-탄소나노튜브를 분리하였다. 산 처리한 탄소나노튜브를 옥타데실아민과 혼합하고 120℃에서 120시간동안 가열하였다. 옥타데실아민은 반도체-탄소나노튜브의 벽에 선택적으로 물리흡착되었다. 옥타데실아민과 반응시킨 탄소나노튜브를 최종적으로 테트라하이드로퓨란에 넣고 초음파로 분산시켰다. 금속-탄소나노튜브와 옥타데실아민이 흡착되지 않은 반도체-탄소나노튜브는 서로 엉겨 붙어서 침전되었다. 반면, 옥타데실아민이 물리흡착된 반도체-탄소나노튜브는 분산 용액의 상청액(supernatant)에 남아 있게 된다. 514 nm와 1064 nm의 라만분광법으로 측정한 결과, 상청액에는 반도체-탄소나노튜브가 94 % 이상, 침전물에는 50 % 정도 존재함을 알게 되었다.

**Abstract** We separated semiconducting single-walled carbon nanotubes(sem-SWCNT) from the HiPco-SWCNTs by dispersion with octadecylamine(ODA). The mixture of acid-treated SWCNTs and ODA was heated at 120℃ for 120hours. ODA physisorbs selectively on the side-wall of sem-SWCNTs. The ODA-treated CNTs were dispersed in tetrahydrofuran(THF) via sonication. The ODA- physisorbed sem-SWCNT can be retained in the supernatant of THF, but met-SWCNT and unabsorbed sem-SWCNT were precipitated in THF. Raman spectra with 514 nm and 1074 nm were investigated. The amount of sem-SWCNT in the supernatant and precipitant was about 94 % and 50 %, respectively.

**Key Words** : carbon nanotubes, octadecylamine, separation, dispersion

## 1. 서론

S. Iijima[1]에 의하여 발견된 가늘고 긴 대롱 모양의 일차원 양자속박상태[2]인 탄소나노튜브는 나노테크놀로지에 응용 가능성으로 인하여 폭발적인 연구가 이루어지고 있다. 그래파이트와 같이 탄소 원자들은  $sp^2$ -결합으로 매우 단단히 연결되어 있으며 그래파이트가 가지고 있지 않는 매우 특별한 물리적인 특성을 가지고 있다. 직경이 나노미터 정도이며 길이는 수 센티미터 혹은 그 이상도 쉽게 합성이 가능하다. 열전도도가 매우 크며 기계적인 강도가 매우 큰 단층벽 탄소나노튜브(Single Wall Carbon NanoTube : SWCNT)는 그의 직경과 감긴 형태(chirality)

에 따라 반도체나 금속의 전자구조[3]를 가진다.

전류를 흘려주어 산화작용을 일으키면 금속-SWCNT를 제거할 수 있으나 나노튜브 한 개 씩 연결 시켜주어야 하므로 다량으로 하기는 부적절한 방법이다[4]. 유전체전기영동(dielectrophoresis) 방법은 높은 수율을 위하여 나노분산이 먼저 수행되어야 하며 이 또한 다량으로 하기에 부적절한 방법이다[5]. 반면에 옥타데실아민(octadecylamine : ODA)를 사용하면 금속-SWCNT 보다 반도체-SWCNT의 표면에 물리흡착을 하여 서로 분리가 되는 성질이 발견되었으며 이를 이용한 다량 분산 방법이 연구 되었다[6].

아민그룹은 반도체-SWCNT 벽을 따라 물리흡착이 잘 일어나며 이에 따른 반도체-SWCNT의 확연한 전기전도도의 변화가 관찰되었다. 반면에 금속-SWCNT의 전기전도도는 아민 흡착으로 큰 영향을 받지 않는다[7-8]. 옥타데실아민과 테트라하이드로퓨란(tetrahydrofuran : THF) 유기용매로 탄소나노튜브를 분산 시키면 옥타데실아민이

이 논문은 2003학년도 순천향대학교 기초과학연구소의 학술연구조성비 일반연구과제로 지원받아 수행하였음.

<sup>1</sup>(주)세한텍

<sup>2</sup>순천향대학교 물리학과

\*교신저자 : 채희백(hbchae@sch.ac.kr)

반도체-SWCNT에 물리흡착 되어 금속-SWCNT와는 분리되어 분산액체의 윗부분(supernatant)에 떠있고 반면에 금속-SWCNT는 가라앉게(precipitant) 된다[6].

우리는 옥타데실아민을 이용하여 반도체-SWCNT와 금속-SWCNT가 섞여 있는 HipCo-SWCNT[8]에서 반도체-SWCNT를 선택적으로 분리하였다. 선택적 분산은 탄소나노튜브의 산(acid) 처리, 옥타데실아민과 반응, 미반응 옥타데실아민의 제거, 테트라하이드로퓨란에 분산, 분산용액의 용매를 증발시키면서 상청액(supernatant)와 침전물(precipitant)을 분리하는 과정으로 진행되었다. 옥타데실아민과 반응시키기 전의 탄소나노튜브와 선택적 분산한 후에 얻은 상청액에 포함되어 있는 탄소나노튜브의 514 nm 및 1064 nm 라만 스펙트럼을 분석하여 탄소나노튜브의 직경과 전기적 성질을 확인하였다. 그 결과 본래의 HipCo-SWCNT에는 금속-SWCNT와 반도체-SWCNT가 거의 50:50의 비율로 섞여있는 반면에 상청액에 포함된 탄소나노튜브는 94% 이상 반도체-SWCNT라는 것을 확인하였다.

## 2. 실험방법

실험에는 HiPco 방법으로 합성된 SWCNT(단층벽 탄소나노튜브)가 사용되었다. 옥타데실아민과 반응시키기 이전에 HiPco 합성 과정에서 사용된 금속 촉매를 제거하고 탄소나노튜브를 자르기 위해서 산(acid) 처리를 하였다. 질산과 황산을 7:3으로 혼합한 왕수에 탄소나노튜브를 넣고(왕수 100cc 당 SWCNT 0.01g) 30분간 초음파처리(sonication)한 후에 증류수로 3회 이상 중화시켰다. 산 처리 과정을 통해서 탄소나노튜브의 열려있는 끝(opened end)과 옆벽(sidewall)의 결함(defect)에 카르복실기가 결합하게 된다[10-14]. 산 처리한 탄소나노튜브를 옥타데실아민(SWCNT:ODA=0.01:2)에 넣고 120 °C로 120 시간동안 가열하여 반응시켰다. 이 반응과정을 통해서 옥타데실아민과 탄소나노튜브는 결합하게 되고, 그 결합 방법에는 두 가지가 있다. 첫 번째는 산 처리에 의해서 탄소나노튜브에 결합된 카르복실기와 옥타데실아민의 아미노기가 결합하여 쌍성이온을 형성하는 경우로[11-14] 반도체-SWCNT와 금속-SWCNT에 모두 일어날 수가 있다. 반면에 두 번째 경우는 물리적 흡착에 의해서 옥타데실아민이 반도체-SWCNT의 벽에 선택적으로 반응하는 경우이다[6]. 옥타데실아민과 반응시킨 이후에 상온에서 냉각시키면 고체상태가 되었다. 탄소나노튜브와 반응하지 않고 남아있는 옥타데실아민을 제거하기 위해서 500 ml의 에탄올에 넣고 초음파 처리하였다. 초음파 후에 필터

(membrane filter, pore size = 5 $\mu$ m)로 걸러주면 옥타데실아민이 결합된 탄소나노튜브는 필터에 남아있고 반응하지 않았던 나머지 옥타데실아민은 에탄올과 함께 빠져나간다. 필터에 남은 탄소나노튜브를 하룻밤 이상 말려주면 분말 상태가 된다. 이 탄소나노튜브를 분산시키기 위해서 400 ml의 테트라하이드로퓨란에 넣고 1시간 동안 초음파 처리를 하였다. 분산 용액을 필터(membrane filter, pore size = 10 $\mu$ m)로 걸러주면 분산되지 않은 탄소나노튜브는 필터에 남아 있고, 분산된 탄소나노튜브는 테트라하이드로퓨란과 함께 밑으로 빠져나간다. 필터를 통과한 분산용액은 시간이 지남에 따라서 옥타데실아민이 물리적 흡착된 반도체-SWCNT는 서로 엉겨 붙지 않고 여전히 분산된 상태로 테트라하이드로퓨란의 상청액에 있는 반면에 금속성-SWCNT와 옥타데실아민이 물리적 흡착되지 않은 반도체-SWCNT는 서로 엉겨 붙어서 침전된다. 침전물에는 as-grown 샘플과 같이 반도체-SWCNT와 금속-SWCNT의 함유량이 50:50이 될 것으로 예상된다. 자연적으로 이러한 침전이 일어나기까지는 많은 시간이 필요하는데, 본 실험에서는 탄소나노튜브가 분산된 테트라하이드로퓨란 용액이 담긴 비이커를 60°C의 수조에 넣어서 유기 용매(즉 테트라하이드로퓨란)를 증발시킴으로써 그 시간을 단축하였다. 분리되지 않은 탄소나노튜브가 침전된 이후에, 반도체-SWCNT가 분산되어 있는 상청액(supernatant)과 침전물을 조심스럽게 분리하였다.

산 처리 직후의 용액과 위의 모든 과정을 거쳐 최종적으로 얻은 상청액을 석영 기판 위에 약 1 $\mu$ m 두께의 필름으로 만들어 공명 라만(Resonant Raman)분광법으로 분석하였다. 사용된 레이저의 파장은 514 nm와 1064 nm 이었다.

## 3. 결과 및 논의

탄소나노튜브의 라만 스펙트럼에는 그림 2와 4에서 보이는 것과 같이 100-350  $cm^{-1}$  영역의 반경방향 숨쉬기 모드(radial breathing mode : RBM)가 있는데 피크의 주파수( $\omega_{RBM}$ )는 튜브의 직경( $d$ )과 반비례관계를 갖는다[15-16]. 이것은 탄소나노튜브의 직경이 작아지면 스트레인이 증가하여 숨쉬기 진동이 어려워지기 때문이다. RBM 주파수와 튜브간의 관계는 튜브의 밀집정도에 따라 조금씩 차이가 있는데 우리는 식(1)을 이용하여 직경을 계산하였다[17-18].

$$\omega_{RBM}(cm^{-1}) = 22A/d(nm) + 14 \quad (1)$$

일차원 전자구조를 갖는 탄소나노튜브는 전자상태밀도 함수에 반 호프(van Hove) 특이점을 갖고, 이 특이점의 위치는 튜브의 직경과 감긴 형태에 따라 서로 다르다. 그리고 광학적으로 가전자대(valence band)에서 전도대(conduction band)로 전자의 천이가 가능하다. tight binding 이론으로부터 구한 전자의 여기에너지와 직경과의 관계는 식(2)와 같다[19-20].

$$\begin{aligned} E_{11}(S) &= 2\gamma_0 a_{cc}/d, & E_{11}(M) &= 6\gamma_0 a_{cc}/d \\ E_{22}(S) &= 4\gamma_0 a_{cc}/d, & E_{11}(M) &= 12\gamma_0 a_{cc}/d \\ E_{33}(S) &= 8\gamma_0 a_{cc}/d \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 E는 여기에너지,  $\gamma_0 (= 2.9 \pm 0.5 \text{ eV})$ 는 전자 상호작용매개변수,  $a_{cc} (= 0.144 \text{ nm})$ 는 탄소-탄소간의 결합길이이다. 이러한 계산 결과를 근거로 Kataura[21]는 탄소나노튜브의 직경과 여기에너지 사이의 관계를 그림 1과 같이 그래프로 표현했는데 흔히 이를 Kataura plot이라고 한다.

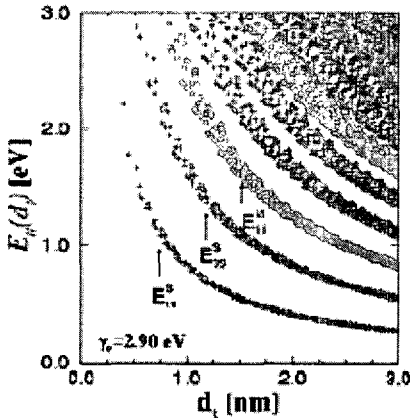
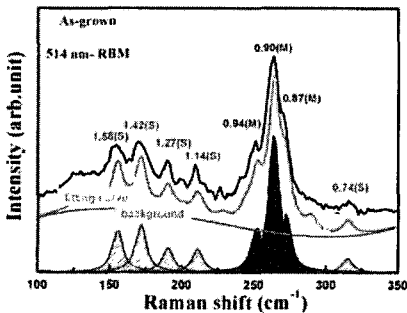
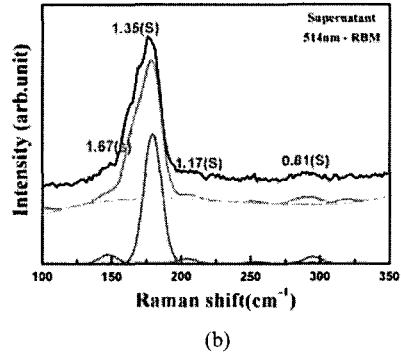


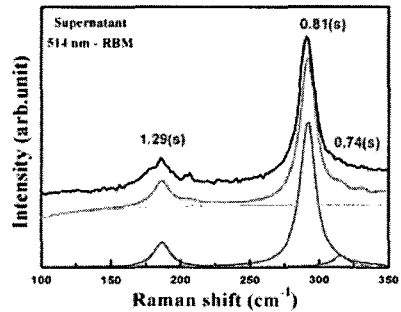
그림 1. Kataura plot(십자가는 반도체-SWCNT, 원은 금속-SWCNT를 나타낸다.)



(a)



(b)



(c)

그림 2. 514 nm 레이저를 이용한 라만 RBM 모드 스펙트럼. (a) 분산 전의 탄소나노튜브, (b)와 (c) 분산 후의 탄소나노튜브(빗금친 피크는 반도체, 검게 채워진 피크는 금속-SWCNT)

그림 2은 514 nm(2.41 eV) 레이저를 이용한 RBM 스펙트럼인데, (a)는 산 처리만하고 옥타데실아민과 반응시키기 이전의 탄소나노튜브로부터 얻은 것이고, (b)와 (c)는 선택적 분산 후에 분산 용액의 상청액에 포함된 탄소나노튜브로부터 얻은 결과이다. (a)의 스펙트럼을 보면 156-315  $\text{cm}^{-1}$  사이에 여러 개의 피크들이 보인다. 각 피크의 RBM 주파수를 식(1)에 대입하여 직경을 구하고, 스토크(stoke) 천이( $E_{ii} = E_{laser} - E_{phonon}$ )와 안티-스톡(anti-stoke) 천이( $E_{ii} = E_{laser} + E_{phonon}$ )를 고려하면서 Kataura plot과 비교하여 튜브의 직경과 전기적 성질을 결정하였다. 그 결과 본래의 HiPco-SWCNT는 0.74 nm( $315 \text{ cm}^{-1}$ )와 1.14-1.58 nm( $211-156 \text{ cm}^{-1}$ ) 직경을 갖는 반도체-SWCNT와 0.9 nm( $264 \text{ cm}^{-1}$ ) 정도의 직경을 갖는 금속-SWCNT가 섞여있음을 알 수 있었다. 반면에 (b)와 (c) 스펙트럼을 보면 분산 용액의 상청액에는 0.9 nm 직경의 금속-SWCNT는 포함되어 있지 않고, 0.74 nm( $315 \text{ cm}^{-1}$ ), 0.81 nm( $292 \text{ cm}^{-1}$ ), 1.17-1.67 nm( $205-148 \text{ cm}^{-1}$ )의 반도체-SWCNT만 있는 것을 알 수 있다.

그림 3은 514 nm 레이저를 이용하여 선택적 분산 전과 후의 탄소나노튜브로부터 얻은 G-모드 라만 스펙트럼이다. G-모드는 탄소-탄소간의 결합의 길이 늘어남과 관련된 진동모드이며 탄소나노튜브의 경우에 1580 cm<sup>-1</sup> 부근의 피크는 축방향 진동모드를 나타내며 1560 cm<sup>-1</sup> 부근의 피크는 원주방향 진동모드를 나타낸다. 축방향의 진동모드는 튜브 직경과 무관한 반면 원주방향 진동은 직경에 대한 의존성을 보이지만 그 효과는 아주 작다. G-모드에서 직경을 알 수는 없지만 피크의 모양으로부터 탄소나노튜브의 전기적 성질을 알 수는 있다. 반도체-SWCNT는 축방향과 원주방향 진동모드 모두 피크가 Lorentzian 모양을 갖지만, 금속-SWCNT는 축방향 진동모드 피크는 Lorentzian을 원주방향 진동모드 피크는 매우 넓은 Breit-Wigner-Fano 모양을 갖는다고 보고되고 있다[15-16]. 그림 3의 결과를 보면 분산 전의 시료에서는 1580 cm<sup>-1</sup> 부근의 축방향 진동모드 피크는 잘 보이지만 1560 cm<sup>-1</sup> 부근의 원주방향 진동모드 피크는 분명하지가 않다. 그러나 선택적 분산 후의 시료에서는 1580 cm<sup>-1</sup>과 1560 cm<sup>-1</sup>에 두 진동모드 피크가 모두 분명하게 보인다. 따라서 G-모드 스펙트럼으로부터도 반도체-SWCNT만 선택적으로 분산된 것을 알 수 있다.

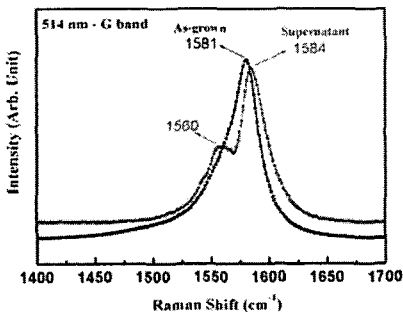
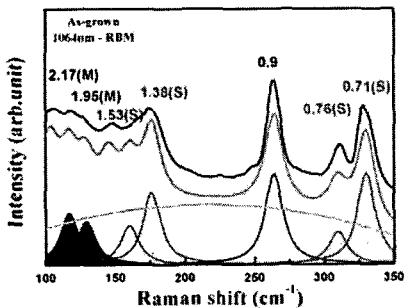
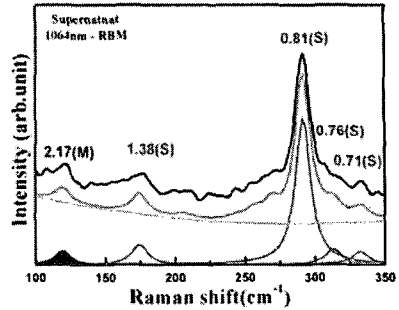


그림 3. 514 nm 레이저를 이용한 라만 G-모드 스펙트럼.



(a)



(b)

그림 4. 1064 nm 레이저를 이용한 라만 RBM 모드 스펙트럼. (a) 분산 전의 탄소나노튜브, (b) 분산 후의 탄소나노튜브

그림 4은 1064 nm(1.17 eV) 레이저를 이용한 RBM 스펙트럼인데, (a)는 산 처리만하고 옥타데실아민과 반응시키기 이전의 탄소나노튜브로부터 얻은 것이고, (b)는 선택적 분산 후에 분산 용액의 상청액에 포함된 탄소나노튜브로부터 얻은 결과이다. (a)의 스펙트럼을 보면 117-330 cm<sup>-1</sup> 사이에 여러 개의 피크가 보인다. 위의 514 nm의 경우와 마찬가지로 각 피크의 주파수로부터 직경을 계산하고 Kataura plot과 비교하였다. 그 결과 본래의 HiPco-SWCNT에는 0.71-0.76 nm(309-330 cm<sup>-1</sup>)와 1.38-1.53 nm(160-176 cm<sup>-1</sup>) 직경의 반도체-SWCNT와 1.95-2.17 nm(117-129 cm<sup>-1</sup>) 직경의 금속-SWCNT가 섞여 있었음을 알 수 있다. 반면에 (b)의 스펙트럼을 보면 면적 비로 계산했을 때 94%가 반도체-SWCNT였고, 4%가 금속-SWCNT로 나타났다.

#### 4. 결론

아직까지는 금속 및 반도체-탄소나노튜브를 따로따로 구분하여 합성하지 못하고 있으며, 탄소나노튜브의 전기적 성질을 바꾸어 주는 것도 어려운 상태이다. 따라서 합성된 탄소나노튜브의 선택적 분산은 매우 중요한 과제이다. 옥타데실아민을 탄소나노튜브와 반응시키면 반도체-SWCNT에만 선택적으로 물리흡착하게 되는데 우리는 이러한 성질을 이용하여 반도체-SWCNT만 선택적으로 분산시켰다. 선택적 분산 전후의 탄소나노튜브에 대해서 514 nm와 1064 nm 레이저를 이용하여 공명라만분석을 하였다. RBM과 G-모드 스펙트럼을 분석한 결과, 본래의 HiPco-SWCNT에는 0.7-2.1 nm 직경의 반도체-SWCNT와 금속-SWCNT가 섞여 있었지만 분산 후에는 반도체

-SWCNT가 94 % 이상임을 확인하였다.

탄소나노튜브를 공명라만분석하면 사용한 레이저의 파장과 공명조건을 만족하는 일부의 튜브만이 반응하게 되므로 이후에는 633 nm, 785 nm 파장의 레이저를 이용하는 실험이 필요하겠다. 또한 분산 용액의 침전물에는 여전히 많은 양의 반도체-SWCNT가 포함되어 있기 때문에 수율을 향상시키는 방법을 찾는 연구가 필요하겠다.

## 감사의 글

라만분광기와 화학 분리실험을 이용하게 허락하신 성균관대학교 물리학과 이영희 교수님께 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] S. Iijima, "Helical microtubules of graphitic carbon", *Nature*, 35, pp.56-58, 1991
- [2] M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, and P. Avouris, Eds. *Carbon Nanotubes : Synthesis, Structure, Properties and Applications*, 1st ed ; SpringerVerlag: Heidelberg, Germany ; Vol.80. 2001
- [3] R. Saito, G. Dresselhaus, and M. S. Dresselhaus, *Physical Properties of Carbon Nanotubes*, Imperial College Press, London, 1998.
- [4] P.G. Collins, M.S. Arnold, P. Avoris, "Engineering Carbon Nanotubes and Nanotube Circuits Using Electrical Breakdown", *Science*, 292, pp.706-709, 2001
- [5] R. Krupke, F. Hennrich, H. V. Lohneysen, M. Manfred, and M.M. Kappes, "Seperation pf Metallic from semiconducting Single-Walled Carbon Nanotubes", *Science*, 301, pp.344-347, 2003
- [6] D. Chattopadhyay, S. Lastella, S. Kim, and F. Papadimitrakopoulos, "A Route for Bulk Separation of Semiconducting from Metallic Single-Wall Carbon Nanotubes", *J. Am. Chem. Soc.*, 125, pp.3370-3375, 2003
- [7] Elena V. Basiuk, Vladimir A. Basiuk, Jose-Guadalupe Banuelos, Jose-Manuel Saniger-Blesa, Valeriy A. Pokrovskiy, Taras. Yu. Gromovoy, Aleksandr V. Mischanchuk, and Boris G. Mischanchuk, "Interaction of Oxidized Single-Walled Carbon Nanotubes with Vaporous Aliphatic Amines", *J. Phys. Chem B*, 106, pp.1588-1597, 2002
- [8] Jing Kong and Hongjie Dai, "Full and Modulated Chemical Gating of Individual Carbon Nanotubes by Organic Amine Compounds", *J. Phys. Chem B*, 105, pp.2890-2890, 2002
- [9] Pavel Nikolaev, Michael J. Bronikowski, R. Kelley Bradley, Frank Rohmund, Daniel T. Colbert, K. A. Smith and Richard E. Smalley, "Gas-phase catalytic growth of single-walled carbon nanotubes from carbon monoxide", *chemical physics letters*, 313, pp. 91-98, 1999
- [10] Jie Liu et al., "Fullerence Pipes", *Science*, 280, pp 1253-1256, 1998
- [11] Jian Chen, Mark A. Hamon, Hui Hu, Yongsheng Chen, Apparao M. Rao, Peter C. Eklund and Robert C. Haddon, "Solution Properies of Single-Walled Carbon Nanotubes", *science*, 282, pp.95-98, 1998
- [12] Jian Chen, Apparao M. Rao, Sergei Lyuksyutov, Mikhail E. Itkis, Mark. A. Hamon, Hui Hu, Robert W. Cohn, Peter C. Eklund, Daniel T. Colbert, Richard E. Smalley and Robert C. Haddon, "Dissolution of Full-length Single-Walled Carbon Nanotubes", *J. Phys. Chem. B*, 105, pp.2525-2528, 2001
- [13] Debjit Chattopadhyay, Sarah Lastella, Sejong Kim and Fotios Papadimitrakopoulos, "Length Separation of Zwitterion-Functionalized Single Wall Carbon Nanotubes by GPC", *J. Am. Chem. Soc.*, 124(5), pp .728-729, 2002
- [14] Mark A. Hamon, Jian Chen, Hui Hu, Yongsheng Chen, Mike E. Itkis, Apparao M. Rao, Peter C. Eklund and Robert C. Haddon, "Dissolution of Single-Walled Carbon Nanotubes", *Adv. Mater.*, 11, pp.834-840, 1999
- [15] M.S. Dresselhaus and P.C. Eklund, "Phonons in carbon nanotubes" *Adv. Phys.* 49, pp. 705 - 814, 2000
- [16] M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, A Jorio, A. G. Souza Filho and R. Saito, "Raman spectroscopy on isolated sungle wall carbon nanotubes", *Carbon*, 40, pp.2043-2061, 2002
- [17] A. M. Rao1, J. Chen, E. Richter, U. Schlecht, P. C. Eklund, R. C. Haddon, U. D. Venkateswaran, Y.-K. Kwon and D. Tománek, "Effect of van der Waals Interactions on the Raman Modes in Single Walled Carbon Nanotubes", *Phys. Rev. Lett.*, 86, pp.3895 - 3898, 2001

- [18] Kataura et al., "Trigonal warping effect of carbon nanotubes", Physical Review B, 61(4), pp 2981-2990, 2000
- [19] Noriaki Hamada, Shin - ichi Sawada, and Atsushi Oshiyama, "New one-dimensional conductors: Graphitic microtubules", Phys. Rev. Lett. 68, pp.1579 - 1581, 1992
- [20] R. Saito, M. Fujita, G. Dresselhaus, and M. S Dresselhaus, "Electronic structure of chiral graphene tubules", Applied Physics Letters, 60(18), pp. 2204-2206, 1992
- [21] Kataura et al., "Optical properties of single-wall carbon nanotubes", Synthetic Metals, 103, pp.2555-2558, 1999

**이 광 훈(Lee-Kwang Hoon)**

[정회원]



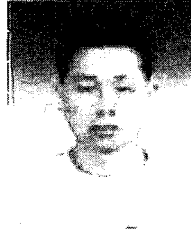
- 2002년 2월 : 순천향대학교 물리학과 (학사)
- 2004년 2월 : 순천향대학교 물리학과 (석사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : (주)세한텍 기술개발 대리

<관심분야>

유리 및 초경 재료, 다이아몬드 코팅.

**박 훈(Hoon Park)**

[정회원]



- 1997년 2월 : 순천향대학교 물리학과 (이학사)
- 1999년 2월 : 국민대학교 전자공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 순천향대학교 물리학과 (이학석사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 물리학과 박사과정

<관심분야>

유기발광다이오드

**채 희 백(Hee-Baik Chae)**

[정회원]



- 1975년 2월 : 인하대학교 물리학과(이학사)
- 1978년 8월 : 고려대학교 물리학과(이학석사)
- 1987년 8월 : Univ. of Michigan (이학박사)
- 2001년 3월~현재 : 순천향대학교 물리학과 정교수

<관심분야>

유기발광다이오드, 탄소나노튜브, 열물성측정