

## 제올라이트 템플레이트를 이용한 단일벽 탄소나노튜브의 합성 및 특성 평가

### Synthesis and Characterization of Single-Walled Carbon Nanotubes from Zeolite Templates

곽은혜, 정구환

강원대학교 나노응용공학과 (E-mail: [ghjeong@kangwon.ac.kr](mailto:ghjeong@kangwon.ac.kr)),

**초 록:** 다양한 분야에서의 차세대 응용이 기대되고 있는 단일벽 탄소나노튜브(Single-walled carbon nanotubes, SWNTs)의 직경을 합성단계에서 제어할 수 있다면, SWNTs의 전도성을 제어하는 것이 훨씬 수월하게 되어 차세대 나노전자소자의 실현을 크게 앞당길 수 있게 된다. SWNTs의 직경제어를 위한 기초연구로서, 본 연구에서는 나노사이즈 직경의 정렬된 기공을 갖는 제올라이트를 합성 템플레이트로 이용하여 SWNTs를 합성하고, 합성조건 및 제올라이트의 종류에 따른 SWNTs의 직경 변화를 규명하고자 하였다.

#### 1. 서론

단일벽 탄소나노튜브(Single-walled carbon nanotubes, SWNTs)는 나노스케일의 크기와 우수한 물성으로 인하여, 전자, 에너지, 바이오 분야로의 응용이 기대되고 있다. 특히 합성단계에서 SWNTs의 직경을 제어하게 된다면 튜브의 전도성 제어가 훨씬 수월하게 되어, 차세대 나노전자소자의 실현을 앞당길 수 있으며 이러한 이유로 많은 연구들이 현재 행해지고 있다. SWNTs의 직경제어 합성을 위해서는 현재 열화학기상증착법(Thermal chemical vapor deposition; TCVD)이 가장 일반적으로 이용되고 있으며, 합성 촉매와 합성되는 튜브 직경과의 크기 연관성(Size-relationship)이 알려진 후로는, 촉매의 크기를 제어하여 SWNTs의 직경을 제어하고자 하는 연구들이 활발하게 보고되고 있다 [1-5].

특히, 촉매 나노입자의 직경이 1~2nm 이하로 감소될 때 SWNTs의 직경분포가 어떻게 변화할 것인지가 최근 가장 중요한 관심사로 남아 있으나, 이러한 금속입자의 크기는 나노입자의 용점저하현상이 발현되는 영역이므로, SWNTs의 합성온도 구간에서 촉매금속입자는 반액체(Semi-liquid) 상태로 존재할 것으로 추측되고 있다. 본 연구에서는 이러한 고온의 SWNTs 합성환경에서 금속나노촉매의 유동성을 제한하기 위하여 나노사이즈의 기공이 규칙적으로 정렬된 다공성 물질인 제올라이트를 촉매담지체로 이용하였고, 이 때 다양한 합성변수가 SWNTs의 직경에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

#### 2. 본론

SWNTs의 합성을 위해서 실리콘 산화막 기판 위에 제올라이트를 도포한 후, 합성 촉매로서 E-beam 증착법을 통하여 수 Å에서 수 nm 두께의 철 박막을 증착하여 이용하였다. 합성은 메탄( $CH_4$ )을 원료가스로 하여 TCVD법으로 실시하였다. 주요변수로는 제올라이트의 종류, 증착하는 철 박막의 두께, 합성온도를 설정하였으며, 이에 따라 합성된 SWNTs의 합성수율 및 직경분포의 변화를 체계적으로 살펴보았다. SWNTs의 전체적인 합성수율의 변화는 SEM 관찰결과를 이용하였으며, SWNTs의 직경은 AFM 관찰 및 Raman 스펙트럼의 분석에서 도출하였다.

#### 3. 결론

제올라이트의 종류에 따라서는 명확한 합성수율 및 직경분포의 변화를 확인하기는 힘들었으며, 합성온도가 850°C이하로 감소되면 합성수율이 현저히 감소되는 것을 알 수 있었다. 촉매박막의 두께가 1nm이상인 경우에서는 직경 5nm전후의 나노입자가 형성되었으며, 이때 SWNTs의 합성수율은 높았으나 다양한 직경의 튜브가 합성이 된 것을 확인할 수 있었다. 반면, 촉매입자의 크기가 2nm 이하에서는 합성수율은 다소 저하되었으나, SWNTs의 직경분포의 폭이 상대적으로 좁아지는 것을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. N. Wang et al., Nature 408 (2000) 50.
2. T. Moteki and S. Maruyama, J. Phys. Chem., 115 (2011) 24231.
3. M. F. C. Fiawoo et al., Phys. Rev. Lett., 108 (2012) 195503.
4. D. Tang et al., Sci. Reports, 2 (2012) 971.
5. M. He et al., Sci. Reports, 3 (2013) 1460.