

플라즈마 밀도와 기판의 기울임 정도에 따른 탄소나노튜브의 성장

김경욱, 최은창, 박용섭, 김형진, 윤덕용, 홍병유
성균관대학교

Synthesis of CNTs with plasma density and tilt degree of substrate.

Kyung Wook Kim, Eun Chang Choi, Yong Seob Park, Hyung Jin Kim, Deok Yong Yun, Byungyou Hong
Sungkyunkwan Univ.

abstract: Carbon nanotubes are attractive nano-structured materials because of their remarkable electronic, physical, chemical properties. Due to these reasons, application researches of CNTs are actively processed on the display, the electronic element, the nano-diode fields and the semiconductor element. Today, The major issue of semiconductor technique are via and interconnects. CNTs are used to make via and interconnects because of high electric currents density and high heat transfer. Control of the orientation of grown CNTs is very important thing for making via and interconnects. Via are horizontal growth of CNTs and interconnects are vertical growth of CNTs. This research is based on the experiment using control of gas flow directions and DC bias. Scanning Electron Microscope (SEM) was used to check this experiment.

key words: Carbon nanotubes, The orientation of CNT, DC bias, Gas flow direction

1. 서론

나노 소재들 중 가장 주목을 받고 있는 재료중의 하나인 탄소나노튜브 (CNTs, carbon nanotubes)는 높은 기계적 강도, 큰 aspect ratio, 뛰어난 전기전도도, 열적 화학적 안정성 등 특유의 성질을 가지고 있으며, 이러한 특성으로 인하여 평판디스플레이[1], 센서, 수소저장 등의 다양한 산업분야에서 연구가 진행 중이다. 반도체 회로는 소자의 고성능화와 고집적화를 위해서 반도체 회로의 선폭이 줄어들고 수많은 트랜지스터 사이를 지나가는 전자의 이동거리가 늘어남에 따라 전선의 전류에 대한 저항이 증가하고 전선들 사이의 간격도 좁아짐에 따라 선간 커패시턴스 현상으로 인한 오류가 발생하고 있다. 또한, 칩에서 사용되는 via와 반도체 회로를 연결하는 interconnects는 칩 전체의 약 2분의 1 정도의 제조비용이 들어갈 정도로 interconnects 문제가 반도체 기술의 주요 관심거리가 되고 있다. 현재 이를 해결하기 위해서 알루미늄 보다 전류 밀도가 더 높은 구리를 사용하고 있다. 동일조건에서 구리의 전류밀도는 10^6 A/cm²인 반면에 탄소나노튜브는 약 10^9 A/cm²로 탄소나노튜브가 구리에 비해서 약 1000배의 높은 전류 밀도와 높은 열전달 특성, 우수한 구조적 강도를 가지고 있기에 LSI의 via 및 interconnects로서 탄소나노튜브의 응용 가능성이 충분하다. LSI의 via 및 interconnects에 응용되기 위해서는 탄소나노튜브의 성장 방향성 조절이 굉장히 중요하다. 탄소나노튜브를 LSI의 via로 사용하기 위해서는 수직 성장, interconnects로 이용하기 위해서는 수평성장 시키는 것이 필요하다. 본 연구에서는 HF-PECVD 법을 이용하여 기판을 기울이고, DC bias를 달리하여 탄소나노튜브를 합성하였으며, 합성된 탄소나노튜브는 전계 방출 주사현미경(FESEM)을 사용하여

성장 특성 및 방향성을 확인하였다.

2. 실험

본 실험에서는 먼저 Si wafer를 TCE, Acetone, Methanol, D.I.(deionized) water를 사용하여 각 용액에서 10분씩 초음파 세척을 한 후, 마지막으로 불산(HF) 처리를 45초 동안 하여 웨이퍼 세척을 하였다. 세척이 끝난 Si wafer위에 magnetron sputtering 시스템을 이용하여 Ni를 40 nm의 두께로 증착하였고 Ni층과 기판 사이의 adhesion을 좋게 하기 위해서 웨이퍼와 Ni층 사이에 Ti를 20 nm로 증착하였다. 탄소나노튜브의 수평적 성장을 위하여 negative PR 패턴을 형성하였고 형성된 패턴에 위와 같은 방법으로 촉매층을 증착시켰다. 그리고 탄소나노튜브의 수평성장을 위해서 SiO₂ 층을 200 nm로 증착 시킨 후 lift-off 공정을 통해 PR을 제거 하였다. 촉매층 증착이 끝난 후에 HF-PECVD 방법을 이용하여 DC bias를 0, 500, 700V로, 기판의 기울기를 0, 45, 90도로 달리하여 탄소나노튜브를 성장 시켰다. 자세한 공정은 아래 표 1과 같다.

표 1. 탄소나노튜브의 증착 조건

Parameter	Condition
Base pressure	8 mTorr
Work pressure	1.25 Torr
Pre-treatment	10 min, NH ₃ (126 sccm)
Grow state	20 min, NH ₃ (126 sccm), C ₂ H ₂ (47 sccm)
Growth Temperature	650 °C
DC bias	0, 500, 700V
Tilting	0, 45, 90°

3. 결과 및 고찰

그림 1은 HF-PECVD를 이용해 성장온도를 650°C로 일정하게 인가하고 DC bias를 0, 500, 700V로 달리하여 성장시킨 탄소나노튜브의 FE-SEM 사진이다. 그림 1에서 DC bias (plasma power)는 탄소나노튜브의 성장 방향성에 영향을 주지 않지만 성장 특성에는 영향을 주는 것을 확인할 수 있다. 그림 1(a)에서는 탄소나노튜브가 성장되지 않았고, 그림 2(b)에서는 탄소나노튜브가 성장되었으나 직경과 길이가 일정하지 않았다. 그림 1(c)에서는 직경이 거의 일정하고 길이는 2um 정도 자란 것을 확인할 수 있다. 이것은 DC bias가 클수록 아세틸렌이 더 잘 분해가 되기 때문에 탄소나노튜브의 촉매 입자로 분해된 탄소가스가 원활하게 공급되어 탄소나노튜브가 잘 성장되었다. 이와 같이 DC bias는 아세틸렌(C₂H₂)를 분해하는 중요한 요소임을 알 수 있다.

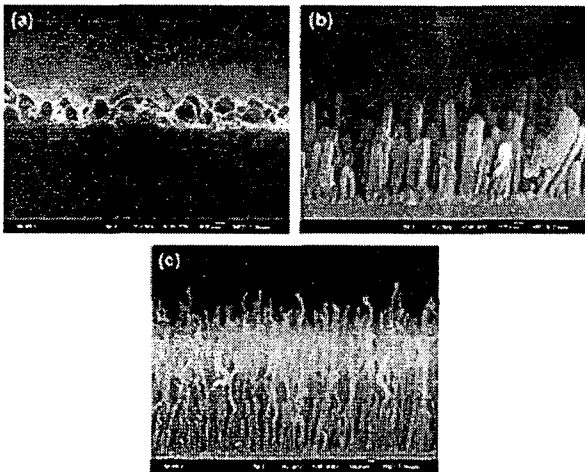


그림 1. DC bias에 따라 성장시킨 탄소나노튜브의 SEM 이미지
 (a) 0V of DC bias (b) 500V of DC bias
 (c) 700V of DC bias

그림 2는 Si 기판을 전극으로부터 0, 45도를 기울인 상태에서 일정한 온도 650°C, DC bias 700V로 성장시킨 탄소나노튜브의 SEM 이미지이다. 그림 2(a)은 탄소나노튜브가 수직성장향을 보였고, 그림 2(b)는 45정도 기울여진 탄소나노튜브가 성장됨을 보인다. 그림 2에서와 같이 전극으로부터 기판을 기울임으로써 기판으로의 아세틸렌이 흐르는 방향이 달라지기 때문에 이와 같은 탄소나노튜브의 성장 방향성을 보인다.

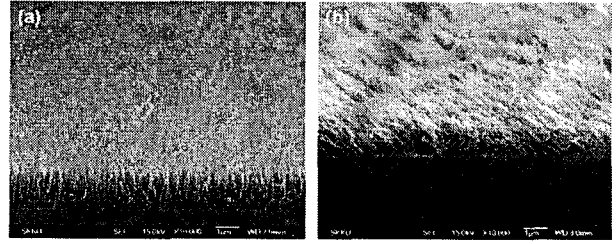


그림 2. 기판을 기울인 상태에 따라 성장시킨 탄소나노튜브의 SEM 이미지
 (a) 기울인 각도 0도, (b) 기울인 각도 45도

4. 결론

본 연구에서는 LSI의 via 및 interconnects로의 응용을 위해 HF-PECVD 장비를 이용하여 탄소나노튜브의 성장 방향성 조절 연구를 진행 하였다. 기판을 전극으로부터 기울임으로써 기판으로 떨어지는 분해된 아세틸렌 gas 흐름의 방향을 변화시켰다. 기판의 기울인 정도에 따라서 탄소나노튜브의 성장 방향성이 달라지는 것을 확인할 수 있었고, DC bias는 탄소나노튜브의 성장 방향성에 영향을 주지 않지만 성장 특성에는 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 성균관대학교 과학기술부 지정 플라즈마 응용 표면 기술 연구 센터의 지원으로 수행 되었으며, 이에 감사드립니다.