

## 탄소 나노 튜브를 이용한 EDLC(전기 이중층 축전기)용 전극 제조

윤범진, 이건홍

포항공과대학교 화학공학과 에너지/전자 재료 연구실

**Fabrication of electrode for EDLC(electric double layer capacitor) using carbon nanotubes**Bum-Jin Yoon, Kun-Hong Lee

Frontier Energy and Electronic Materials Laboratory, Department of Chemical Engineering, Pohang University of Science and Technology

서론

1991년 Iijima 박사가 탄소 나노 튜브의 발견을 보고한 이후<sup>1</sup> 전자 정보통신 소재, 의약학, 환경 에너지 등 다양한 분야에서의 응용이 제시되어왔다. 이 중 연료전지, 2차 전지, 전기 화학적 축전기 등의 에너지 저장 장치용 전극재료로 탄소 나노 튜브를 이용하고자 하는 시도는 가장 활발하게 진행되고 있는 연구 중 하나이다.

2차 전지는 에너지 밀도(Energy density)가 높은 반면 순간적인 출력 밀도(Power density)가 낮아, 고출력이 요구될 경우 전극 구조의 붕괴로 인한 수명 단축 및 성능 저하를 가져온다. 이러한 2차 전지의 단점을 보완하는 수단으로 전기 화학적 축전기(Electrochemical capacitor)를 2차 전지와 함께 사용 하는 방법이 제시되고 있다. 축전기(Capacitor)가 두 전극 사이에 유전 물질을 넣어 전하의 배열만으로 에너지를 저장하는 반면, 전기 화학적 축전기는 유전 물질 대신 전해질을 사용, 하전 된 입자들의 이동까지 이용 하는 축전기이다. 또, 전지(Battery)가 전극 물질의 벌크 특성을 이용하는 장치인데 반해, 전기 화학적 축전기는 표면 특성을 이용하는 장치이다. 이와 같은 특성에 기인, 전기 화학적 축전기는 축전기 보다 높은 에너지 밀도와 전지보다 높은 순간 출력 밀도 및 이에 대한 안정성을 확보하고 있는 전기 에너지 저장 장치이다.

전기 화학적 축전기는 다시 두 가지로 분류가 가능한데, 이온과 전극 표면 사이의 물리 흡착 과정을 통한 전기 이중 층을 이용하는 전기 화학적 축전기(Electric double layer capacitors, EDLC)가 그 하나요, 화학 흡착 과정을 통한 유사 축전을 이용하는 유사 축전기(Pseudocapacitors)가 다른 하나라 할 수 있겠다.<sup>2,5</sup>

본 연구에서는 Hot filament DC PE-CVD법으로 합성된 탄소 나노 튜브를 이용, 전기 이중 층 축전기를 제조하였다. 탄소 나노 튜브의 표면을 활성화 시킬 경우 그렇지 않은 경우보다 나은 용량의 전기 이중 층 축전기를 제조 할 수 있음을 이번 연구를 통해 확인하였다.

## 실험

### 탄소 나노 튜브 합성

탄소 나노 튜브를 합성하는 장치로 이용된 Hot filament DC PE-CVD장치는 텅스텐 filament를 이용하여 고온 환경을 얻어내고, DC 전류를 이용하여 플라즈마를 발생시키는 장치로써, 탄소 나노 튜브의 저온 수직 성장을 위해 이용되어 왔다.<sup>3,4</sup>

0.05 mm 두께의 Ni foil (Nilaco, 99.7%)을 장치에 넣고  $10^{-5}$  torr의 초기압력을 확보한 후 실험을 진행하였다. 먼저  $\text{NH}_3$  160 sccm을 흘려주면서 0.5~1 torr로 반응기 압력을 안정화 시킨 후, Hot filament로 650°C까지 가열한다. 이후 660 V, 110 mA의 세기로 플라즈마를 발생시켜 10분간 Ni foil 표면을 에칭하였다.

에칭이 끝나면 다시  $10^{-5}$  torr까지 반응기 내부 압력을 낮춘 후  $\text{CH}_4$ 와  $\text{H}_2$ 를 각각 20, 180 sccm (10%  $\text{CH}_4$ )를 흘려 0.5 ~ 1 torr로 압력을 안정화 시킨 후 700 °C까지 가열한다. 700 V 150 mA의 플라즈마를 10분간 발생시켜 탄소 나노 튜브를 합성 하였다.

이와 같은 과정을 거친 탄소 나노 튜브는 SEM(Hitachi-S4200)등을 이용하여 분석 되었다.

### 동전형 축전기 제작 및 성능 평가

Fig. 1과 같이 제작된 동전형 축전기는 지름이 18 mm, 높이가 2~3 mm에 이른다. 전극 재료 및 전류 수집체(Current collector)로는 탄소 나노 튜브를 직접 성장 시킨 Ni foil을 사용 하였으며, 전해질로는 7.5 M KOH 수용액이 사용되었다. Can의 Bottom과 Top은 SUS로 제작 되었으며, seperator로는 Polypropylene membrane이 이용되었다. 이와 같이 제작된 동전형 축전기는 Princeton EG&G 1025, 273A set을 이용하여 특성 분석 되었다.

### 결과 및 고찰

Fig. 2-(a)와 2-(b)는 합성된 탄소 나노 튜브의 SEM image이다, 수직으로 정렬된 80 ~ 100 nm 두께의 탄소 나노 튜브가 합성됨을 알 수 있다.

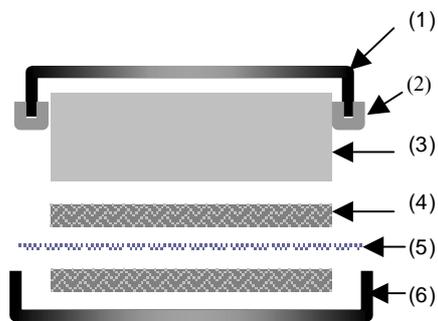
Fig. 3은 Ni foil에 직접 성장 시킨 탄소 나노 튜브의 Cyclic voltametry curve이다. 주목할 만한 사항은 Scan rate가 증가 함에 따라 이상적인 capacitor의 curve에 가까워 진다는 사실이다. 이와 같은 사실은 전기 이중 층 축전기 전극 재료로 널리 사용 되고 있는 활성 탄소 섬유 (Activated carbon fiber)가 Scan rate가 증가 함에 따라 탄소 나노 튜브와는 반대의 경향을 보인다는 사실과 비교될 만 하다. 즉, 빠른 속도의 충전, 방전이 요구되는 system의 경우 탄소 나노 튜브가 보다 더 적합한 전극 재료인 것이다.

뿐만 아니라 Curve 모양이 비교적 ideal 한 또 다른 이유는 Ni foil위에 직접 탄소 나노 튜브를 성장 시킴으로 인하여 접촉 저항이 줄어 들었기 때문이다.

### 참고문헌

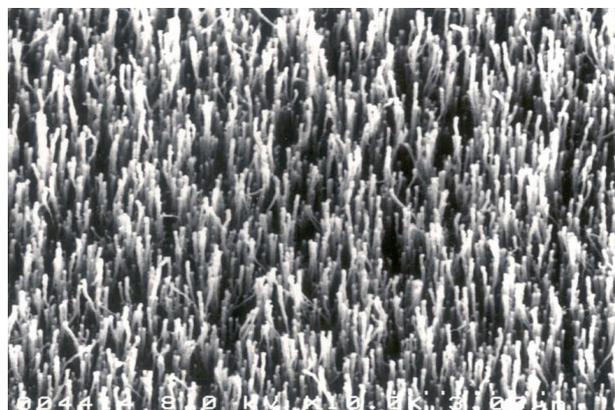
1. S. Iijima, Nature, 354, 56, 1991

2. B.E. Conway, 'Electrochemical Supercapacitors', Kluwer academic, 1997
3. Z.F. Ren et. al., Science, 282, 1105, 1998
4. J.H. Han et. al., Mat. Sci. Eng. C, 16, 65 2001
5. A.J. Bard et. al., 'Electrochemical methods', John Wiley & Sons, 1980



(1) SUS, (2) gasket, (3) Spacer (Ni foam), (4) Electrode (ACF), (5) Separator, (6) SUS

**Fig. 1 Coin cell**

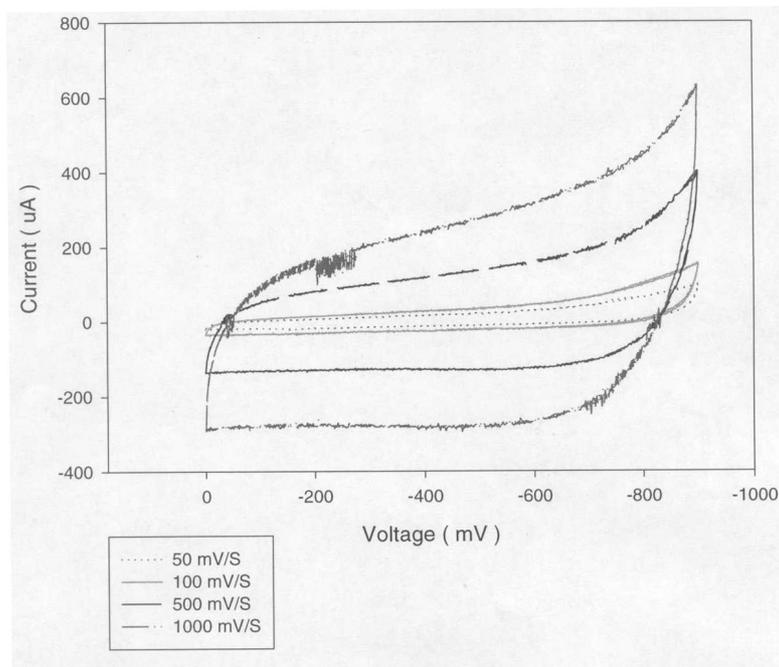


**(a)**



(b)

**Fig. 2. SEM images of Carbon nanotubes**  
**(a) x 10,000, (b) x 50,000**



**Fig. 3. Cyclic voltametry curve of Carbon nanotubes**