

방적이 가능한 다중벽 탄소나노튜브를 이용한 유연성 투명히터

Flexible Transparent Film Heater using Spun Multi-Walled Carbon Nanotubes

*장훈식, 전상구, 정인현 #남승훈

*H. S. Jang, S. K. Jeon, I. H. Jeong, #S. H. Nahm(shnahm@kriss.re.kr)
한국표준과학연구원 재료측정표준센터

Key words : Carbon nanotubes, spinning, film heater

1. 서론

탄소나노튜브는 우수한 물리적, 화학적 특징으로 인하여 우주항공분야, 복합재료분야, 생명공학분야 등 많은 분야[1-3]에 관심과 연구가 이루어져 왔다. 특히 방적이 가능한 다중벽 탄소나노튜브 성장과 그 기술이 소개되면서[4], 유연성 전도성 필름[5], 인공근육[6], 유연성 디스플레이[7] 등의 응용분야에 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 방적이 가능한 탄소나노튜브에 대한 연구는 아직, 기초 단계라 할 수 있으며, 이에 대한 많은 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 방적이 가능한 탄소나노튜브 성장을 소개하고, 탄소나노튜브 방적기술과 이를 이용한 유연성 필름 히터를 제작하고, 그 특성을 기술하였다.

2. 실험 방법

방적이 가능한 탄소나노튜브는 열기상 합성법으로 C₂H₂와 H₂를 이용하여 합성을 하였으며, 이 때 합성온도는 800℃이다. 탄소나노튜브 성장을 위해 촉매금속 Fe를 이용하였으며, Fe의 필름 두께는 ~5nm로 하여, e-beam 증착기를 이용하여, Fe 필름을 SiO₂ wafer 위에 증착을 하였다. 성장된 탄소나노튜브의 한 다발을 직접 잡아 덩어리 내는 방법으로 탄소나노튜브 시트를 형성하게 하였으며, 탄소나노튜브가 계속적으로 시트로 뽑아져 나오게 하였다.

탄소나노튜브가 시트로 뽑아져 나오는 형태는 그림 1a)와 같다. 유연하고 투명한 필름을 제작하는 개략도를 그림 1b)에 나타냈다. 이와 같이 탄소나노튜브 시트를 만들어낸 다음 유연성 기판이나 유리기판에 직접 코팅을 하고, 코팅된 탄소나노튜브 시트 위에 알코올을 분사를 하고 난 다음 80℃의 오븐에서 1시간 동안 드라이를 한다. 알코올 분사는 탄소나노튜브 시트의 전도성을 향상시키고, 투과율을 증가시키는 효과가 있다. 코팅된 탄소나노튜브 시트 양끝에 전극으로 Al 호일을 그림 과같이 코팅을 하였다. 그리고, 시트표면의 보호를 위해 탄소나노튜브 시트 위에 PET 필름을 도포 하였다. 이렇게 제작된 탄소나노튜브 시트필름의 양끝에 직류전압을 인가를 하고, 그 시트필름의 전기적 특성을 측정 하였다. 이중 시트 필름은 단일 탄소나노튜브를 두 겹으로 하는 방법으로 제작하였다. 또 한 이중 시트필름의 전기적 특성을 측정하고, 단일 시트필름과 비교하였다.

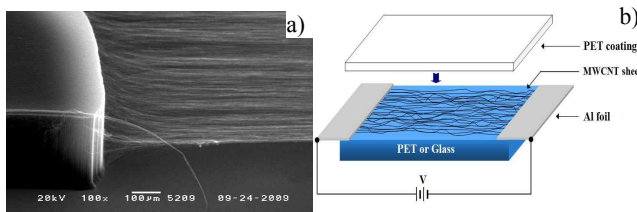


Fig. 1 Scanning electron microscopy (SEM) image of MWCNT sheets from super well-aligned MWCNTs on a substrate and b) the diagram of MWCNT sheet film on a substrate with an electrode pair.

3. 결과 및 고찰

성장된 탄소나노튜브의 길이는 250~300 μm 정도이며, 직경은 약 15nm 이었다. 이렇게 성장된 탄소나노튜브는 방적이 가능하였다. 방적이 가능한 탄소나노튜브로부터 탄소나노튜브 시트를 만들어내고, 이를 이용하여 만들어진 탄소나노튜브 시트필름은 다양한 크기로 여러 개의 시트필름을 쉽게 만들었다. 단일 시트 필름은 투과율이 81~85%이고, 면저항은 ~699 Ω/μm 이고, 이중 시트 필름은 투과율이 67~72%이고, 면저항은 ~349 Ω/μm 로 나타났다. 시트필름의 두께는 단일 시트인 경우 100nm 이하였으며, 이중시트인 경우 200nm 이하로 나타났다. 이는 원자현미경으로 확인했으며, 원자현미경 사진은 그림 2 와 같다. 또 한 탄소나노튜브 시트의 밀도는 성장된 탄소나노튜브의 밀도에 의존하였으며, 밀도는 ~1.8±5×10¹⁰ tubes/cm²였다.

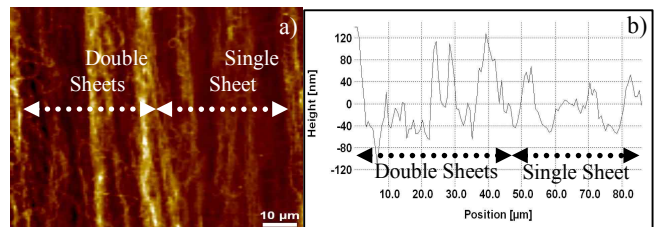


Fig. 2 a) AFM image of double and single sheet films and b) height histogram with position scanned by AFM tip.

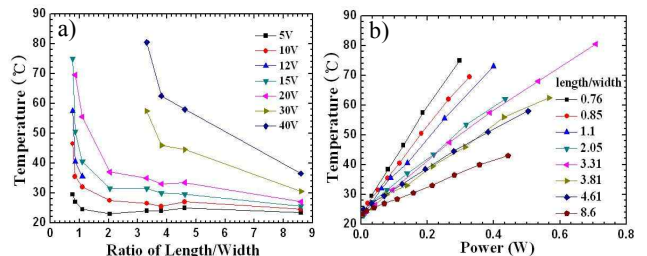


Fig. 3 a) Sheet temperatures plotted versus length/width at different DC voltages. b) Sheet temperature plotted versus applied DC power to sheet film for each length-to-width ratio.

각 탄소나노튜브 시트필름 양쪽에 직류전원을 인가하여, 그림 3 과 같은 각각의 시트필름에 따른 온도변화 그래프를 얻었다. 샘플의 폭에 대한 길이 비가 작을수록 낮은 전압에서 시트표면 온도가 높게 측정되었으며, 모든 샘플은 인가된 전력 변화 따라 시트의 표면 온도가 선형적이 변화를 보였다. 만약 자동차 유리에 적용하려면, 자동차의 히터의 구동전압이 12V 임을 감안 할 때, 샘플의 폭에 대한 길이 비가 1 이하이면, 적당하다는 것을 알 수 있다.

단일 탄소나노튜브 시트필름(0.65×0.85 cm²)인 경우 12V 인가할 때 시트의 온도가 57.5℃까지 올라갔으며, 이중 탄소나노튜브 시트필름(1.3×0.9 cm²)인 경우, 10V 인가하면 시트의 온도가 58℃까지 올라갔다.

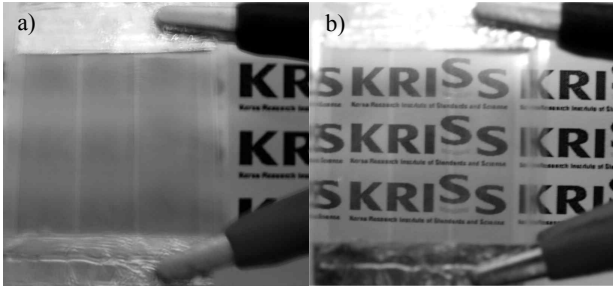


Fig. 4 Defrosting results a) before and b) after operation of the MWCNT sheet film heater.

그림 4는 -4~-5°C 냉동고 안에서 약 30분동안 넣어서 충분히 그림 4a)처럼 시트 표면에 서리가 발생하게 하였으며, 서리가 충분히 발생 후 다시 밖으로 내어, 시트의 양단에 직류전압을 인가한 후, 서리가 완전히 제거된 후의 사진을 그림 4b)에 나타냈다. 일반적으로 실온에서 서리가 완전히 제거될 때까지는 약 30 초 이상 걸렸지만, 시트의 양단에 직류전압을 인가하면, 시트표면의 서리는 15 초안에 서리가 완전히 제거됨을 확인하였다.

그림 5는 시트 양단에 12V를 인가한 후 열화상 카메라로 측정한 온도와 열화상을 나타낸다. 그림 5a)는 단일 시트필름을 나타내며, 그림 5b)는 이중 시트필름을 나타낸다. 이들 시트필름은 세로이 시트 양쪽 끝의 접촉저항을 향상 시켜서 만들어졌다. 접촉저항의 향상을 위해, 탄소나노튜브 시트 양쪽에 Au를 ~5nm 두께로 정착하여 그 위에 Al 호일을 부착하였다. 이렇게 해서 만들어진 시트필름들은 시트의 폭에 대한 길이의 비가 1 이상이지만, 12V 인가 시, 그림 5와 같이 시트의 온도가 높게 나타났다. 다음 그림 6은 단일 시트필름과 실제 자동차 유리를 실외에서 영하 3°C 정도에서 열화상 카메라로 비교한 그림이다. 그림과 같이 시트필름과 자동차 유리는 비슷한 온도 분포를 보였으며, 이는 12V에서 자동차 유리용 히트로 충분하다고 생각 된다. 또 한 탄소나노튜브 시트필름은 자동차 유리뿐만 아니라, goggle 등에 응용가능 하다고 판단된다.

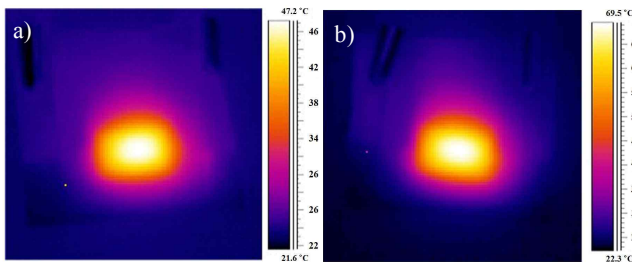


Fig. 5 Infrared thermal images for the a) single and b) double sheet films (1.15x0.7 cm²) at an applied voltage of 12V.

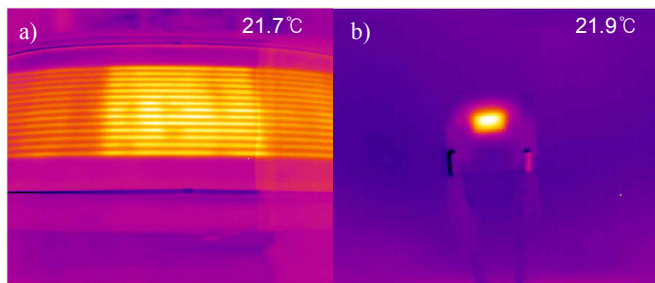


Fig. 6 Infrared thermal images of the a) car window and b) single sheet film at an applied voltage of 12V.

4. 결론

방적이 가능한 탄소나노튜브를 열기상 증착법으로 성장 하였으며, 방적이 가능한 탄소나노튜브로 부터 탄소나노튜브 시트를 만들 수 있었으며, 탄소나노튜브 시트를 유연성

기관에 직접 코팅하는 방법으로 탄소나노튜브 시트 필름을 제작하였다. 만들어진 탄소나노튜브 시트 필름 양단에 직류전압을 인가하였으며, 탄소나노튜브 시트 표면에 직류전압 인가되는 정도에 따라, 열이 발생하였으며, 시트필름의 폭에 대한 길이 비에 따라 시트의 온도 변화는 의존하는 결과를 얻었다.

냉동고안에서 인위적으로 시트표면에 서리를 생성시키고 난 후 시트양쪽에 직류전압을 인가하면, 빠르게 서리가 완전히 제거되었으며, 이는 후에 자동차유리의 서리제거 역할을 하는 자동차용 유리로 응용 가능하다고 판단된다.

후기

This research was supported by grant (Grant No. 06K1401-00920) from the Center for Nanoscale Mechatronics & Manufacturing.

참고문헌

1. A.C. Dillon, K.M. Jones, T.A.Bekkedahl, C.H. Kiang, D.S. Bethune, M.J. Heben, "Storage of Hydrogen in Single-Walled Carbon Nanotubes," *Nature*, **386**, 377-379, 1997.
2. P. Chen, X. Wu, J. Lin, K.L. Tan, " High H₂ Uptake by Alkali-Doped Carbon Nanotubes under Ambient Pressure and Moderate Temperatures," *Science*, **285**, 91, 1990.
3. A.Thess, R. Lee, P. Nikolaev, H. Dai, P. Petit, J. Robert, C. Xu, Y.H. Lee, S.G. Kim, A.G. Rinzler, D.T. Colbert, G.E. Seuseria, D. Tomanek, J.E. Fischer, R.E. Smalley, "Electronic Structure of Carbon Nanotubes with Chiral Symmetric," *Science*, **273**, 483, 1996.
4. K. Jiang, Q. Li, S. Fan, "Spinning continuous carbon nanotube yarns," *Nature*, **419**, 801, 2002.
5. M. Zhang, S. Fang, A.A. Zakhidov, S.B. Lee, A.E. Aliev, C.D. William, K.R. Atkinson, R.H. Baughman, "Strong, Transparent, Multifunctional, Carbon Nanotube Sheets," *Science*, **309**, 1215, 2005.
6. A.E. Aliev, J. Oh, M.E. Kozlov, A.A. Kuznetsov, S. Fang, M.F. Fonseca, R. Ovalle, M.D. Lima, M.H. Haque, Y.N. Gartstein, M. Zhang, A.A. Zakhidov, R.H. Baughman, "Giant-Stroke, Superelastic Carbon nanotube Aerogel Muscles," *Science*, **323**, 1575, 2009.
7. C.D. Williams, R.O. Robles, M. Zhang, S. Li, R.H. Baughman, A.A. Zakhidov, " Multiwalled carbon nanotube sheets as transparent electrodes in high brightness organic light-emitting diodes," *Appl. Phys. Lett.* **93**, 183506, 2008.