

Improvement of Field Emission Characteristics of Carbon Nanotubes by Oxidative Electrical Trimming

Jihyeon Jeon, Hansung Lee, Jinhee Kim, Youngrea Kim, Hongjun Jeon, Jungchun Goak and Naesung Lee
Faculty of Nanotechnology and Advanced Materials Engineering, Sejong Universtiy

Abstract : 탄소나노튜브의 전계방출 특성은 그 길이에 많은 영향을 받으며 길이가 균질 할수록 전계방출에 참여하는 탄소나노튜브의 수가 증가하여 전자방출의 균일도가 향상되고 수명도 증가할 것으로 기대되고 있다. 이 논문에서는 탄소나노튜브의 길이를 인위적으로 제어하여 균질하게 하기 위해 오존을 이용하여 길이가 긴 탄소나노튜브만 선택적으로 제거하는 방법을 사용하였다. 오존에 의해 처리한 시편은 전에 비해 높은 균일도를 나타내고 수명도 약 4배가량 크게 향상되었다.

Key Words : 탄소나노튜브, 전자방출, 오존, 수명

1. 서론

탄소나노튜브는 끝이 예리해 전계가 팁 부분에 집중되기 때문에 가열하지 않고 전계의 인가만으로도 쉽게 전자를 방출시킬 수 있으며, 방출 전자의 에너지 폭이 좁고 전류밀도가 높아 우수한 전자 방출원의 조건을 갖추고 있다[1~3]. 이에 탄소나노튜브를 전자방출소자(field emitter)로 응용하기 위한 연구가 세계적으로 진행되고 있다. 그러나 아직은 전계방출 장치를 상용화하기 위해서 극복해야 할 문제점이 많으며 그 중에서도 대 면적에서 균일하게 전자를 방출하고 장시간의 수명을 유지해야 하는 등의 문제는 특히 시급하다.

일정한 면적의 시편에서 정해진 전류밀도의 전자를 방출시킬 때, 시편의 전계방출 수명과 균일도는 전자방출에 실제 참여하는 에미터의 수에 의해 좌우될 것이다. 그러나 스크린 프린트 법으로 제조된 시편은 탄소나노튜브들의 길이가 크게 달라 전계방출시 길이가 긴 것들만 작동을 하게 되어 적은 수의 탄소나노튜브들만 전자를 방출하므로 전자가 불 균일하게 방출되며 수명도 짧아지는 문제가 생긴다.

이 논문에서 우리는 오존 가스 분위기에서, 에미션 하는 탄소나노튜브의 끝단에 생기는 고온의 Joule 열을 이용하여 길이가 긴 탄소나노튜브를 빠르게 태워 그 길이 분포를 줄이는 방법을 연구하였다. 이를 통해 발광 균일도와 수명을 향상시키는 방법에 대해 연구하였다.

2. 실험

실험은 2극관 구조의 2 cm X 2 cm 크기에 페이스트가 dot 모양으로 인쇄된 시편을 cathode로 사용하였으며 dot의 지름은 10 μm 이며 각 dot간의 거리는 300 μm 이다. 모든 측정을 하기 전에 접착성 있는 테이프를 사용하여 표면층을 제거하는 처리법을 수행하였다. Cathode와 anode 간의 간격

은 300 μm 를 유지하였으며 anode로는 형광체를 증착한 ITO 유리를 사용하였다. 실험엔 500Hz에 1/60 duty를 가지는 사각파를 사용하였으며 측정 기본 압력은 10^{-7} torr이하에서 실험을 실행하였다. 전압계와 전류계는 모두 컴퓨터와 연결되어 실시간으로 측정하여 기록하였다.

가스를 이용한 실험은 frequency와 duty는 기본 측정과 동일하게 한 상태에서 일정전류(28 μA)가 나오도록 전압을 변화시키면서 측정 하였다. 오존 가스는 5×10^{-4} torr를 집어 넣었으며 챔버에 달린 leak valve로 미량의 가스를 조절하였다.

에미션 균일도를 측정하기 위해 챔버 위에 달린 CCD카메라를 이용하여 각 파워마다 이미지를 촬영하여 균일도 측정 프로그램으로 average dot uniformity(a-du)를 측정하였으며 실제 휘도 측정은 BM 7을 사용하여 측정하였다. 산화성 가스 처리 전, 후의 샘플을 비교하여 기준전류(7 $\mu\text{A} = 2 \text{ mA/cm}^2$)에서 전류가 반으로 떨어지는 시점까지를 수명으로 정의하여 균질화 처리에 따른 수명 향상을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

오존 처리 전 후의 균일도와 수명 향상 비교를 위해 탄소나노튜브들이 충분히 적립하도록 고 전압에서 균질화 처리를 실행한 시편과 오존 처리를 한 시편을 준비하여 각 파워에서의 휘도를 측정하였다.

그림 1(a), (b)를 비교해 보면 각 파워에서 오존 처리 후 휘도는 떨어졌지만 a-du는 약 4% 정도 향상된 모습을 보였다. 이는 그림 2의 CCD 이미지에서도 확인이 가능하다. 오존 처리 전에 비해 처리 후 소실되었던 dot들이 많이 보이며 전체적으로 국부적인 hot spot이 사라진 것을 확인할 수 있다. 오존 처리에 의해 탄소나노튜브의 길이가 비슷해지면

서 전계 집중이 완화 되어 길이가 짧아 발광하지 않던 탄소나노튜브들의 발광을 유도한 것으로 생각된다.

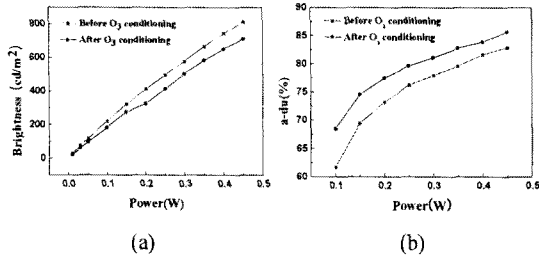


그림 1. (a) 각 파워에 따른 휘도 변화 (b) 파워에 따른 균일도 변화

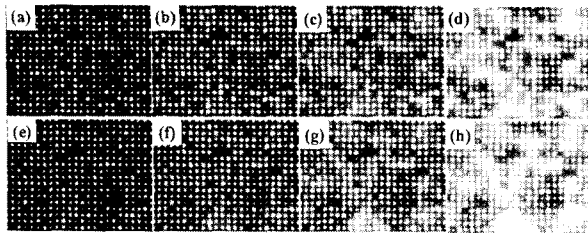


그림 2. 각 파워에서의 CCD 이미지. (a)-(d)는 오존 균질화 처리 전에 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.45w 에서 측정된 이미지이며 (e)-(h)는 오존 균질화 처리 후 0.1, 0.2, 0.3, 0.45w 에서 측정된 이미지 이다.

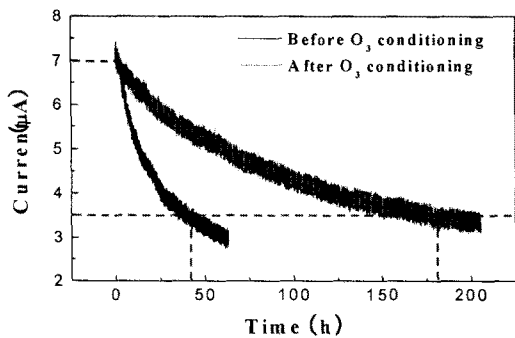


그림 3. 오존 처리 전·후 수명 비교. 오존 처리 전엔 약 45시간 이었던 수명이 오존 처리 후 약 180 시간까지 증가하였다.

그림 3은 전기적 균질화 처리를 한 시편과 오존 처리 한 시편의 수명을 비교한 그래프 이다. 오존 처리 후 약 4배 정도 수명이 증가한 것을 확인하였다. 이는 오존 균질화 처리가 길이가 긴 탄소나노튜브를 제거하여 실제로 작동하는 탄소나노튜브의 양을 증가시켰기 때문인 것으로 판단된다. 각 탄소나노튜브가 부담하는 전류의 양이 감소하여 같은 조건에서도 더 오래 견디는 것으로 생각된다.

4. 결론

이 논문에서는 오존 가스와 반응성을 통해 탄소나노튜브의 효과적인 균질화를 꾀하였다. 그 결과 오존 가스를 이용하여 길이가 긴 탄소나노튜브만 선택적으로 제거함으로써 나노튜브 사이의 길이 차이가 감소하여 더 많은 나노튜브들이 전계방출에 참여함으로써 유효전계방출면적이 증가하였다고 할 수 있다. 오존을 통한 균질화 처리는 전기적 균질화 처리에 비해 더욱 빠르고 효과적으로 처리가 가능하였다. 균질화 처리를 통해 같은 전력에서 균일도는 약 4% 가량 증가 하였으며 수명은 약 4배가량 증가 하였다. 오존을 통한 균질화 처리는 간단하고 빠르게 시편을 균질화 시키고 수명을 획기적으로 증가시키므로 여러 면에 응용이 가능하리라 본다.

참고문헌

- [1] Baughman, R. H, Zakhidov, A. A and de Heer, W. A 2002 Science 297 787
- [2] Rinzler, A. G, Hafner, J. H, Nikolaev, P, Lou, L, Kim, S. G, Tomanek, D, Colvert D and Smalley, R. E 1995 Science 269 1550
- [3] de Heer W. A, Chatelain, A and Ugarte, D 1995 Science 270 1179
- [4] Yi, W, Jeong, T, Yu, S. G, Heo, J, Lee, C, Lee, J, Kim, W, Yoo, J and Kim, J 2002 Adv. Mate 14 1464
- [5] Dean, K. A, Burgin, T. P and Chalamala, B. R 2001 Appl. Phys. Lett 79 1873
- [6] Dean, K. A, Von Allmen, P, Chalamala, B. R and Vac, J 1999 Sci. Technol. B 17 1959