

다양한 선폭 및 선 간격을 갖는 금속 메쉬에 대한 탄소 나노튜브의 코팅 효과

황영진, 김부중, 박종설, 박진석
 한양대학교 전자시스템공학과

Coating effects of carbon nanotubes on metal meshes with various line-spaces and line-widths

Young-Jin Hwang, Bu-jong Kim, Jong-seol Park, Jin-Seok Park
 Department of Electronic Systems Engineering, Hanyang University

Abstract - This study demonstrates the coating effect of carbon nanotubes on metal meshes, which have been made with various line-spaces and line-width, for touch screen panels. The CNTs have been deposited on metal meshes via electrophoretic deposition (EPD). The sheet resistances, visible transmittances, visible reflectances have been measured before and after electrophoretic deposition. The experimental results confirm that CNT coating metal meshes with various line-spaces and line width can satisfy the requirements that are required for transparent electrodes of touch screen panels.

(lift-off)를 수행하였다.

<표 1> Sputter 조건

Ar gas 주입량	80sccm
공정 압력	10mTorr
Free Sputtering time	300s
Sputtering time	300s

1. 서 론

현재 디스플레이, 터치스크린 패널 등으로 다양한 전자소자의 재료로서 널리 쓰이고 있는 인듐-주석-산화물(Indium-thin-oxide, ITO)은 높은 투과율과 전기적 저항 등이 우수한 것으로 알려져 있다. 하지만 ITO는 쉽게 깨지기 쉬운 특성과 우수한 특성을 확보하기 위해서는 높은 공정온도가 요구되기 때문에 향후 기대되는 유연한 전자소자로서 적용되기에는 다소 어려움이 있다.[1]. 이러한 ITO를 대체하기 위해서 탄소 나노튜브(carbon nanotubes), 은-나노와이어(Ag-nanowire), 금속 메쉬(metal mesh) 등에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.[2-4]

위와 같이 제작한 은 메쉬 전극 위에 코팅에 사용될 탄소 나노튜브 현탁액(suspension)의 제작과정은 다음과 같다. 단일벽(single-walled) 탄소 나노튜브 파우더에 포함되어 있는 불순물을 제거하기 위해 황산(H₂SO₄)과 질산(HNO₃)을 2:1 비율로 혼합한 뒤 탄소 나노튜브 파우더를 10mg을 넣고 초음파 분산기와 교반기(agitator)를 이용하여 35분 동안 탄소 나노튜브를 정제(purification)를 수행 하였다. 정제된 탄소 나노튜브를 진공여과장치(vacuum filtering system)를 이용하여 걸러내고 이소프로필알코올(isopropyl alcohol, IPA) 50ml 용액과 질산마그네슘(Mg(NO₃)₂·6H₂O) 15mg을 함께 넣은 다음 10분동안 초음파 분산기에 넣는다. 초음파 처리가 끝난 혼합용액을 시험관에 나누어 넣은 뒤 원심분리기(centrifuge)를 이용하여 30분동안 4000rpm의 속도로 가동한 후, 분산이 잘되어 있는 상층액을 추출하여 EPD에 사용할 탄소 나노튜브 용액을 만들었다.

이 중에서 금속 메쉬는 대체적으로 낮은 면 저항과 높은 가시광 투과율의 장점으로 투명전극으로서의 기대되는 상황이며 이에 관련하여 몇몇 연구도 진행 중에 있다.[5-7] 그러나 높은 반사율의 금속으로 인해 패턴이 보이는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 패턴의 선폭을 초 미세화 하는 연구가 주로 진행되고 있다. 하지만, 아직까지 시인성을 개선하기 위한 수준에는 미치지 못하고 있는 상황이다. 또한, 금속 메쉬 위에 흑화 역할을 하는 소재를 코팅하여 반사율을 감소 시킴으로써 시인성을 개선할 수 있으나, 다른 소재를 코팅함으로써 투과율의 감소가 문제가 발생하고 있다.

전기영동법을 이용하여 탄소 나노튜브를 코팅하는 방법은 다음과 같다. 탄소 나노튜브 현탁액 용기 안에 양극(anode)에는 구리, 음극(cathode)에는 은 메쉬를 넣은 후 두 전극 사이의 거리를 10mm로 고정시킨다. 탄소 나노튜브 용액에 100V 전압을 인가하게 되면 용액안의 마그네슘 이온(Mg²⁺)을 탄소 나노튜브가 흡수하고 양전하로 대전된 탄소 나노튜브는 음극인 은 메쉬로 이동하여 코팅이 된다. 이때 탄소 나노튜브는 약 1.5um의 두께로 증착하였다. 표 2는 본 연구에 사용된 모든 시료의 제작 조건 및 각 시료에 대한 물성 측정 결과들을 정리한 것이다.

또 다른 대체 전극 소재인 탄소 나노튜브는 우수한 시인성 및 화학적 안정성을 가지고 있지만 튜브 형태의 구조적 특성으로 튜브 사이의 큰 접합저항(junction resistance)가 존재하기 때문에 높은 면 저항이 문제가 되고 있다. 최근 이러한 문제를 해결하기 위해서 탄소 나노튜브 기반의 다양한 복합 전극에 대한 연구가 진행되고 있지만[8-9] 다소 미흡한 실정이다.

<표 2> 시료 조건 및 특성

시료	선폭-선 간격 (um)	EPD Time (s)	반사율 (%)	투과율 (%)
M ₁	10-300	-	12.54	94.5
M ₂	10-100	-	22.48	82.65
M ₃	5-100	-	13.83	92.7
ME ₁	10-300	60	9.1	92
ME ₂	10-100	120	9.8	78.7
ME ₃	5-100	90	8.44	89.2

본 연구에서는 금속 메쉬의 시인성 문제를 해결하기 위하여 금속 메쉬 위에 탄소 나노튜브를 코팅하였다. 특히, 다양한 종류의 선폭과 선간격의 금속 메쉬를 제작하여 면 저항, 투과율, 반사율에 대한 측정 결과를 비교하였으며, 금속 메쉬 위에 전기영동법(electrophoretic deposition)으로 탄소 나노튜브를 코팅하여 그 효과를 투과율과 반사율의 변화를 통하여 확인하였다.

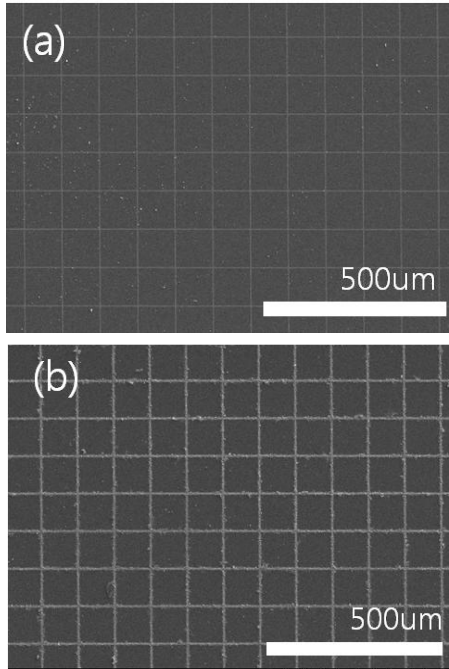
은 메쉬 및 전기영동법을 사용하여 탄소 나노튜브가 코팅된 은 메쉬 전극의 표면 형상을 보기 위하여 FESEM(field-emission scanning electron microscope, SIGMA, Carl Zeiss)을 이용하여 관찰하였다. 또한, 은 메쉬의 면 저항은 비접촉 면 저항 측정기(NAPSON, EC-80P)를 사용하여 측정하였고, 모든 시료들의 가시광 투과율 및 반사율은 Spectrum Colorimeter(Konica Minolta, CM-5)를 이용하여 측정하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

유리(Glass) 기판위에 100nm의 은(Ag) 메쉬를 제작하기 위하여 다음과 같은 방법으로 포토리소그래피(photolithography)를 수행하였다. 가로 세로 3cm의 크기를 갖는 유리 기판 위에 스피너코터(spin coater)를 이용하여 포토레지스트(Photoresist, PR)을 코팅한다. 코팅 시 조건은 500rpm 5초, 3000rpm 40초, 1000rpm 5초, 500rpm 5초이며, 이와 같은 방법으로 2500nm의 두께를 갖는 PR을 코팅 후 100°C오븐에서 120s 동안 소프트 베이킹(soft-baking)을 실시하여 코팅 된 PR을 굳힌다. PR이 코팅된 유리 기판에 노광장치(Aligner)를 이용하여 각각 선폭 10um-선 간격 300um, 선폭 10um-선 간격 100um, 선폭 5um-선간격 100um를 갖는 메쉬 형태의 패턴으로 PR 막을 현상하였다. 이 후 스퍼터(sputter)를 이용하여 표 1의 조건으로 100nm 두께의 은 박막을 증착하였으며, 은 증착 후 나머지 PR을 제거하기 위해서 6시간동안 리프트 오프

2.2 결과 및 고찰



〈그림 1〉 은 메쉬 및 그 위에 전기영동법으로 탄소 나노튜브를 증착한 전극의 표면 형상

그림 1(a)는 제작한 은 메쉬 전극의 표면 형상을 나타냈으며, 그림 1(b)는 은 메쉬 위에 전기영동법으로 탄소 나노튜브를 코팅한 복합 전극의 표면 형상을 나타내었다. 전기영동법을 사용하여 탄소 나노튜브가 은 메쉬 표면에만 성공적으로 증착되어 있는 것을 그림 1을 통하여 확인할 수 있다.

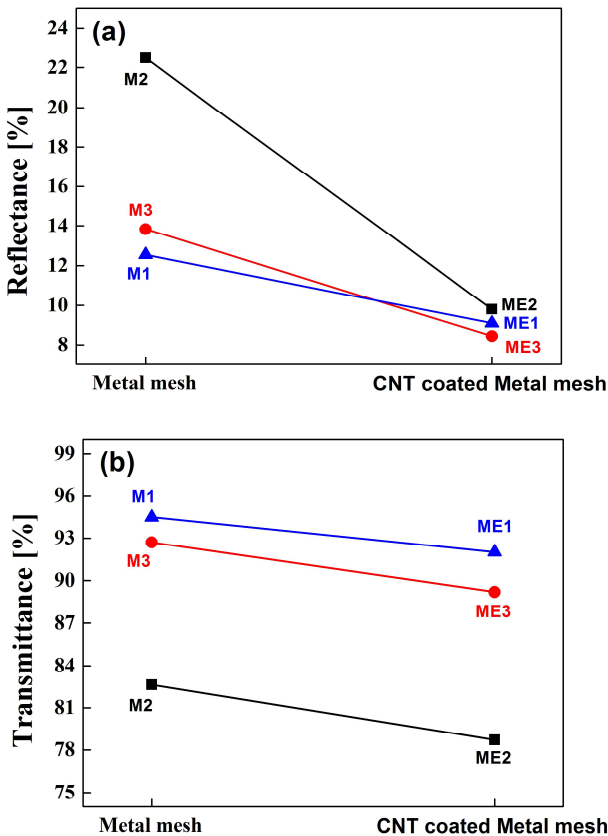
제작한 모든 시료들의 반사율과 투과율 측정 결과를 그림 2(a), (b)에 나타내었다. 은 메쉬 전극인 M₁, M₂, M₃ 시료들의 반사율은 각각 12.54%, 22.48, 13.83%로 M₂가 가장 큰 측정 결과를 나타낸 반면 이와는 반대로 투과율은 각각 94.5%, 82.65%, 92.7%로 M₂가 가장 낮은 측정 결과를 보였다. 한편, 제작된 시료들의 기판 1mm² 당 증착된 은의 면적은 M₁이 0.0784mm², M₂이 0.1719mm², M₃이 0.0975mm²으로 M₂가 가장 큰 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과들로부터 은 메쉬의 광학적 특성은 기판 표면 위에 증착된 은의 면적과 관련이 깊은 것으로 판단할 수 있다. 또한, 은 메쉬 전극의 면 저항은 M₁이 11.9Ω/sq, M₂가 3.54Ω/sq, M₃가 10.2Ω/sq으로 M₂의 경우가 가장 우수한 것으로 나타났지만, 급속히 차지하는 면적이 증가할수록 면 저항이 낮아지는 관계가 있는 것으로 사료된다. 전기영동법을 이용하여 은 메쉬 전극 M₁, M₂, M₃ 위에 탄소 나노튜브를 코팅하여 만든 시료들인 ME₁, ME₂, ME₃의 반사율은 각각 9.1%, 9.8%, 8.44%로 감소하였고, 투과율은 92%, 78.7%, 89.2%로 감소한 것을 볼 수 있다. 이러한 결과로부터 탄소 나노튜브는 은의 반사율을 효과적으로 줄이기 때문에 기판 위에 증착된 은의 면적이 가장 큰 M₂의 반사율 변화폭이 가장 큰 것을 알 수 있었다. 이와 다르게 투과율은 선풍과 선 간격에 관계없이 모든 은 메쉬의 투과율 변화폭이 약 3% 내외로 나타났다. 전기영동법을 사용하여 탄소 나노튜브를 메쉬 표면에만 코팅함으로써 투과율의 저하 현상을 최소화 한 것으로 판단할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 터치스크린 패널 용 투명전극으로써 연구되고 있는 메탈 메쉬의 소재로 은을 사용하여 다양한 선풍과 선간격의 은 메쉬 전극을 제작하였고, 그 위에 전기영동법을 사용하여 탄소 나노튜브를 증착하였다. 제작한 은 메쉬 전극은 선풍과 선 간격에 따라 기판 위에 증착된 은 면적의 차이가 발생하며, 이로 인하여 면 저항, 투과율, 반사율이 달라지는 것으로 확인할 수 있었다. 즉, 기판 위에 증착된 은의 면적이 증가할수록 면 저항과 투과율은 낮아지며, 반사율은 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 전기영동법을 이용하여 탄소 나노튜브를 은 메쉬 표면에 증착한 시료의 경우 투과율의 감소를 최소화하면서 반사율을 감소시켜 시인성을 개선시키는데 효과적이라고 판단할 수 있다. 기판 위에 증착된 메탈의 면적에 따라 산화의 정도가 다를 것으로 예상되는데, 향후 산화 문제에 대한 추가적인 분석을 진행 할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Park, J. M., Wang, Z. J., Kwon, D. J., Gu, G. Y., and DeVries, K. L., "Electrical properties of transparent CNT and ITO coatings on PET substrate including Nano-structural aspects", *Solid-State Electronics*, 79, pp. 147-151, 2013.
- [2] Lee, J. Y., Connor, S. T., Cui, Y., and Peumans, P., "Solution-Processed Metal Nanowire Mesh Transparent Electrodes", *Nano Letters*, 8, pp. 689-692, 2008.
- [3] Cho, N. K., Jung, Y. U., Chung, K. B., and Kang, S. J., "Electrical, Electronic and Optical Characterization of Multilayer Graphene Films for Transparent Electrodes", *Current Nanoscience*, 9, pp. 521-524, 2013.
- [4] Shin, K., Park, R. K., Yu, L., Park, C. Y., Lee, Y. S., Lim, Y. S., and Han, J. H., "Improvement of single-walled carbon nanotube transparent conductive films using substrate pretreatment", *Synthetic Metals*, 161, pp. 1596-1599, 2011.
- [5] Kim, H. J., Lee, S. H., Lee, J. H., Lee, E. S., J. Choi, H., Jung, J. H., Jung, J.Y., and Choi, D. G., "High Durable AgNW Nanomesh film for a transparent Conducting Electrode", *Nano Small Micro*, 18, pp. 3767-3774, 2014.
- [6] Jang, H. Y., Lee, S. K., Cho, S. H., Ahn, J. H., and Park, S. H., "Fabrication of Metallic Nanomesh: Pt Nano-Mesh as a Proof of Concept for Stretchable and Transparent Electrodes", *Chemistry of Materials*, 25, pp. 3535-3538, 2013.
- [7] Lee, T. M., Moh, J. H., Kwak, S. W., Kim, B. M., Jo, J. d., and Kim, I. Y., "Design and Fabrication of Printed transparent electrode with silver mesh", *Microelectronic Engineering*, 98, pp.556-5560, 2012.
- [8] Cheng, H., Dong, Z., Hu, C., Zhao, Y., Hu, Y., Qu, L., Chen, N., and Dai, L., "Textile electrodes woven by carbon nanotube-graphene hybrid fibers for flexible electrochemical capacitors", *Nanoscale*, 5, pp 3428-3434, 2013.
- [9] Afraz, A., Rafati, A. A., and Hajian, A., "Analytical sensing of hydrogen peroxide on Ag nanoparticles-multiwalled carbon nanotube-modified glassy carbon electrode", *J. Solid State Electrochemistry*, 17, pp. 2017-2025, 2013.



〈그림 2〉 은 메쉬 전극과 그 위에 전기영동법으로 탄소 나노튜브를 증착한 전극의 (a)반사율 및 (b)투과율