

# 실크 스크린 프린팅 기법을 적용한 용액 기반의 탄소나노튜브와 은 나노 와이어 코팅 기술 개발

김무진\*

강남대학교 전자공학전공 교수

## Development of Solution-based Carbon Nanotube and Silver Nanowire Coating Technology using Silk Printing Technique

Moojin Kim\*

Professor, Department of Electronic Engineering, Kangnam University

**요약** 나노 크기의 물질은 여러 기판에 코팅이 가능하며, 이 소재는 투명하며, 전도성이 있기 때문에 전자소자의 투명전극이나 전원 공급용 전극으로 활용이 가능하다. 본 연구에서는 CNT와 Ag 나노와이어를 실크스크린 기법을 이용하여 반복적으로 코팅하였으며, 5번까지 형성한 샘플을 제작하여, 광학 및 전기 특성을 측정하고, 분석하였다. 실크스크린 코팅된 샘플 표면은 코팅 방향에 의한 자국이 형성되었음을 확인하였으며, 코팅한 횟수에 따른 투과도 및 표면 저항의 경향성을 조사하였다. 코팅 횟수가 늘어남에 따라 투과도 및 표면 저항은 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 투과도의 경우 2번과 5번에서 변화폭이 컸으며, 이러한 변화는 Ag 나노와이어 코팅에 의한 것으로 확인되었다. 또한, 700nm를 기점으로 이전 파장 영역에서는 파장에 따라 증가하는 반면 이상에서는 감소하는 경향을 보였다. 표면 저항은 1번 코팅했을 때  $9\Omega/\text{cm}^2$ 에서 5번 코팅을 진행하였을 때  $0.856\Omega/\text{cm}^2$ 로 낮아졌다. 투과도와 유사하게 Ag에 의하여 저항값이 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 향후 Ag 나노와이어의 Ag 농도 및 다른 방법으로 코팅하여 투명도가 높은 CNT와의 융합을 통하여 원하는 투명 전극을 구현하여 전자소자에 적용할 필요가 있다.

**키워드** : 실크 스크린 프린팅, 탄소나노튜브, 은 나노와이어, 투과도, 표면 저항

**Abstract** Nano-sized materials can be coated on various substrates, and since this material is transparent and conductive, it can be used as a transparent electrode for electronic devices or an electrode for power supply. In this study, CNT and Ag nanowires were repeatedly coated using the silk screen technique, and samples formed up to 5 times were fabricated, and their optical and electrical properties were measured and analyzed. It was confirmed that marks were formed on the surface of the silkscreen-coated sample according to the coating direction, and the trend of transmittance and surface resistance according to the number of times of coating was investigated. As the number of coatings increased, transmittance and surface resistance tended to decrease. In particular, in the case of transmittance, the range of change was large in the samples coated 2 and 5 times. These changes were confirmed by the Ag nanowire coating. In addition, starting from 700 nm, the previous wavelength region increased according to the wavelength, while the above showed a tendency to decrease. The surface resistance was lowered from  $9\Omega/\text{cm}^2$  when coating once to  $0.856\Omega/\text{cm}^2$  when coating five times. It was found that the resistance value was affected by Ag similarly to the permeability. In the future, it is necessary to realize a desired transparent electrode through Ag concentration and coating of Ag nanowires with other methods and fusion with highly transparent CNT to apply to electronic devices.

**Key Words** : Silk screen printing, Carbon nanotube, Ag nanowire, Transmittance, Surface resistance

This Research was Supported by Kangnam University Research Grants (2022).

\*Corresponding Author : Moojin Kim(moojinkim7@kangnam.ac.kr)

Received July 5, 2023

Revised July 28, 2023

Accepted September 20, 2023

Published September 28, 2023

## 1. 서론

현재 소비자가 구매할 수 있는 디스플레이는 LCD와 AMOLED 2종류가 있다[1-3]. LCD는 우리나라보다 중국에서 최대로 생산하고 있으며, 우리나라는 AMOLED에 집중하고 있다. LCD는 빛을 내는 부품(Backlight)이 있으며, 이 빛을 통과하도록 조절하는 물질에 의해 다양한 색깔을 구현할 수 있다. 반면 AMOLED는 자체 발광 소자이기 때문에 따로 빛을 내는 부품이 필요 없는 장점이 있다. 하지만, LCD 회로는 디지털 형태로 구동하므로 회로가 비교적 간단하여 일반적으로 트랜지스터 1개와 1개의 커패시터로 구성된다. 반면, AMOLED는 아날로그 형태로 구동하여 OLED 소자에 전류를 공급하므로 소자의 밝기를 정확히 조절해야 하기 때문에 구동 회로 소자의 균일도를 위해 픽셀 한 개에 4개 이상의 박막트랜지스터 및 1개 이상의 커패시터가 내장된다. 이로 인해 AMOLED 디스플레이의 구동회로가 복잡하며 공정 난이도가 LCD보다 높다.

LCD는 다양한 크기로 소형부터 대형까지 모든 크기의 디스플레이를 제작하는 것이 가능하지만, rigid한 글라스에 구현되기 때문에 적용분야에 한계가 있다. AMOLED는 글라스와 함께 400도 이상에서 견딜 수 있는 기판만 구현할 수 있다면, 이러한 기판상에 형성이 가능한 기술이다. 대표적으로 노란색의 폴리이미드는 약 500도까지 견디기 때문에 이 소재로 구현된 AMOLED는 디스플레이를 접을 수 있기 때문에 삼성에서는 현재 갤럭시 폴드와 플립이라는 제품명으로 판매되고 있다[4, 5]. 또한, LG도 롤러블이 가능한 대형 텔레비전 형태를 양산중이다. 또한, 구동회로와 OLED 만들어지는 영역과 그렇지 않은 영역을 구별하여 소자를 형성하면, 이러한 소자가 없는 영역은 투명한 글라스만 있어 양면에서 디스플레이가 발광하는 것을 볼 수 있는 투명한 AMOLED가 될 수 있다. 이러한 투명 디스플레이의 핵심 소재라 할 수 있는 재료로 구동 박막 트랜지스터와 OLED소자의 접합부분인 ITO(Indium Tin Oxide)라는 투명 전극을 사용한다[6, 7]. 이 소재는 접합 부분의 저항을 낮게 하여 구동 전압을 낮추고 OLED에서 생성된 가시광선 영역의 빛을 외부 방출하는데 영향을 최소화, 즉 광효율을 높일 수 있도록 한다. 따라서, 없어서는 안되는 중요한 역할을 하는 구성요소라 할 수 있다. 이러한 소재는 3가지의 원소가 구성되어 만들어지는 투명 전극으로 밴드갭이 3eV이상으로

크기 때문에 가시광의 파장에서 투명한 물질이 된다. 이 물질의 Indium은 희귀 금속으로 명명되며, 주요 생산국은 중국이며, 최대 소비국은 우리나라, 일본, 중국이다. 하지만, 중국이 이러한 소재의 가격을 일방적으로 조절할 수 있고, 이것의 수출을 막는다면, 후발주자이며, 우리나라를 넘어서기 위하여 많은 자본과 인력을 투자하고 있는 현실에서 반드시 다른 대안을 찾아야한다.

본 연구진은 이러한 대체 소재로 AZO(Aluminium Zinc Oxide)와 CNT(Carbon Nano Tube) 각각의 물질에 대한 연구 및 개발을 진행해왔다[8-11]. 하지만, Indium을 사용하기 때문에 IZO는 더 이상 연구를 할 필요성이 없으며, CNT는 전기적인 특성을 만족시키기 위하여 여러번 코팅을 하면, 투과도가 감소하기 때문에 ITO 특성과 비슷한 광 및 전기적인 결과를 얻기가 어려웠다. 최근 Ag 나노와이어를 브러시 코팅법 및 아르곤플라즈마 공정을 이용하여 광 및 전기적인 특성을 관찰하였으며, 실험 및 분석 내용을 문헌으로 출간하였다[12]. 이러한 결과를 바탕으로 CNT에 전도도가 높다고 알려진 Ag 나노와이어를 형성한 하이브리드 형태로 투명 전극을 구현하여 소비자가 원하는 전도도와 투과도 특성을 가지는 기판을 제공하고자 한다.

## 2. 선행연구

CNT(카본 나노튜브)는 탄소 원자들이 사슬 모양으로 연결된 특성을 기반으로 강도가 높고, 투과도 및 열전도성이 우수하며 가벼워서 다양한 산업 분야에서 활용되고 있다. 특히, CNT는 단일벽(SWCNT)과 다중벽(MWCNT)으로 구분되며, 각각의 구조는 다양한 응용 분야에 맞춰 사용된다.

먼저, 단일벽은 반도체에 가까운 특성을 나타내도록 제작을 할 수 있으며, 다중벽은 도체에 가까운 특성을 띤다. 이러한 CNT는 전기 및 열 전도성이 우수한 분야인 전자, 플렉서블 전자기기, 태양전지 등의 분야에서 활용되고 있으며, 또한, 기체 및 액체 흡착 능력도 높아 환경 관련 분야에서의 응용이 이루어지고 있는 상황이다. 이러한 CNT는 CNT의 특성을 향상시키고 다양한 기능을 부여하기 위한 다양한 코팅법이 개발되었다. CNT의 코팅법은 크게 물리적 코팅과 화학적 코팅으로 나뉘지며, 물리적 코팅은 CNT를 샘플 표면에 직접 침착시키는 방법으로, 기계적으로 접착시키거나 분말 형태로 혼합하여 코팅할

수 있다. 반면 화학적 코팅은 CNT 표면을 화학적으로 처리하여 코팅물질과 결합시키는 방법으로, 기능성 코팅을 위해 주로 사용된다. 본 연구진은 다양한 기판상에 여러 방법으로 MWCNT 코팅에 대한 실험을 진행하였으며, 현재 투명 전도막으로 사용되고 있는 ITO(Indium Tin Oxide)를 대신하고자 하였다. 하지만, 투과도는 높지만, 전도도가 낮은 값을 나타내었다. 따라서, 하이브리드 구조를 이용하여 전도도가 높은 구조를 개발하고자 하였으며, 그 대안으로 연구될 소재가 Ag 나노 와이어이다. Ag 나노와이어는 은 원소로 구성된 나노크기의 와이어로, 전기 및 열 전도성이 뛰어나며 항균성과 높은 광투과율 등의 특성을 가지고 있어 주로 전자기기, 태양전지, 센서, 의료용품 등의 분야에서 사용된다. Ag 나노와이어의 제조는 주로 화학적 합성법과 물리적 제조법으로 이루어지며, 화학적 합성법은 Ag 이온을 환원하여 나노크기의 와이어로 형성시키는 방법으로, 용매 열처리, 전기화학적 합성, 고온 열처리 등의 공정이 있다. 물리적 제조법은 주로 전기적 혹은 열적인 힘을 이용하여 Ag 나노와이어를 형성시키는 방법으로, 전기침착, 열 침착, 전자선 노출 등의 방법으로 만들어진다.

### 3. 연구방법 및 결과

#### 3.1 CNT와 Ag 나노 와이어 코팅된 기판 제작

나노물질을 형성하기 위한 실험 진행 순서는 Fig. 1과 같다. 먼저, 불순물이 거의 없고 600도 이상까지 견디는 고내열성 글라스를 컷팅기(Glass cutter)로, 3cm × 3cm 정도로 자르는데, 그 이유는 표면에 코팅된 물질의 광투과성(반사도 및 투과도)을 분석하기 위하여 사용되는 측정 장비에서 빛이 입사되고 반사되는 영역이 1cm × 1cm 이므로 이 크기보다 샘플이 커야 한다. 또한, 샘플을 측정하기 위하여 측정기에 위치시킬 때 보다 정확하고, 쉽게 측정하기 위한 최적의 크기는 3cm × 3cm이다.

글라스를 자를 때 발생한 미세 입자들이 글라스 표면에 남아있기 때문에 질소건을 이용하여 입자들을 제거한 후, 추가적으로 DI(Deionized water)에 자른 기판을 담근 후 꺼내어 남아있는 물기를 질소건으로 제거한다. 이러한 공정으로 코팅시 균일도에 영향을 미치는 글라스 표면에 존재하는 미세 입자들은 없다. 하지만, 표면이 소수성 상태이므로 나노 물질을 형성하려면 글라스 표면을 친수성으로 변화시켜야 한다. 이를 위해 아르곤과 산소를

공급한 산소분위기의 상압플라즈마로 기판으로 사용될 샘플을 표면 처리하면 친수성으로 특성이 바뀐다. 이러한 변화하는 것을 표면 접촉각 측정 장비를 이용하여 추이를 관찰할 수 있으며, 관련된 많은 문헌들이 있다.

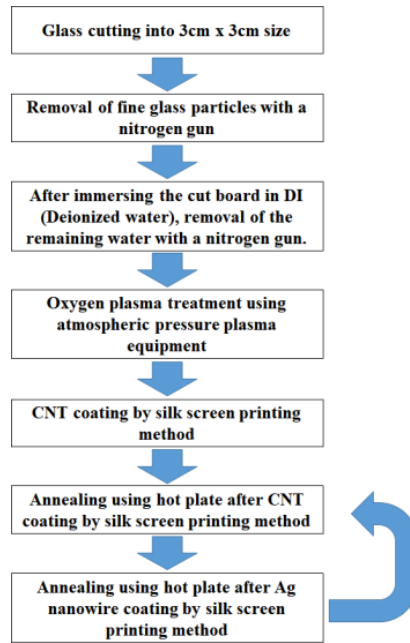


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental method

친수성된 글라스 표면에 용액 기반의 CNT 나노 물질을 코팅하는 순서는 다음과 같다. Fig. 2(a)에 나타내는 것처럼 샘플 아래쪽에 코팅할 용액을 주사기로 3방울을 떨어뜨린다. 이후 샘플보다 큰 유리 기판을 이용하여 아래(Fig. 2(b))부터 위쪽으로 이동시키면 CNT가 글라스 전체에 코팅된다. 이 때 움직이는 글라스는 두께가 100µm로 얇고 가장자리면의 거칠기가 매우 작은 것으로 사용한다. 거칠기는 나노 물질의 형성에 영향을 주며, 강한 힘으로 이동하면 글라스에 의한 이동 방향이 코팅 물질에 남게 된다. 이와 관련된 내용은 뒷부분에서 다루도록 하겠다. 다음으로 표면에 있는 용매를 핫플레이트를 이용하여 증발시키며, 공정 조건은 90도 3분이다. 다음으로 은 나노 물질을 형성하기 위하여 CNT 코팅과 같은 방법으로 진행한다. Fig. 2(c)와 같이 주사기로 글라스 하부에 Ag 나노와이어가 포함된 용액을 3방울 떨어뜨리고, 가장자리의 거칠기가 매우 작은 글라스로 Fig. 2(d)처럼 이동시켜

Ag를 코팅한 후 열처리를 하여 은 나노와이어만 글라스 표면에 남게 한다.

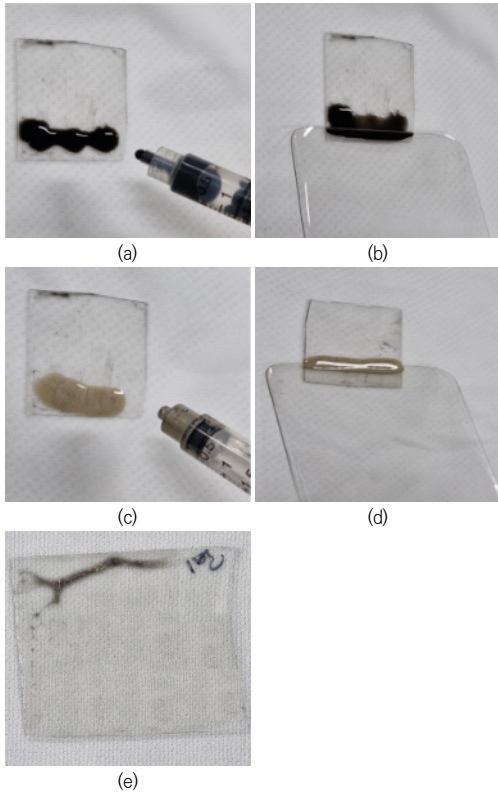


Fig. 2. (a) After dropping 3 drops of CNT nanomaterial on the bottom of the sample with a syringe, (b) moving it from the bottom to the top using a glass substrate larger than the sample, (c) a solution containing Ag nanowires on the bottom of the glass with a syringe 3 drops of (d) moved to glass with very small edge roughness, coated with Ag, and (e) heat-treated glass surface image

이와 같은 과정을 수행하면 코팅 1번을 진행한 것으로 정하였으며, CNT와 은나노와이어가 형성된 샘플 이미지를 Fig. 2(e)에 보였다. 글라스 상부는 나노 물질이 균일하게 형성되지 않은 것을 확인할 수 있으며, 이러한 부분은 향후 개선할 계획이다. 코팅 막의 분석은 균일하지 않은 영역은 배제하고 진행하고자 한다.

이러한 구조에 CNT와 Ag 나노와이어를 추가로 형성하여, 2번, 3번, 4번, 5번 코팅한 샘플을 제작하였다. 또한, 비교를 위하여 CNT만 5번, 은 나노 와이어만 5번 코

팅한 샘플도 만들었다.

이러한 샘플 총 7개는 현미경으로 표면 형성 상태를 확인하였고, 광학적, 전기적인 특성을 분석하기 위하여 UV/Visible Spectrophotometer와 4point probe로 측정하였다.

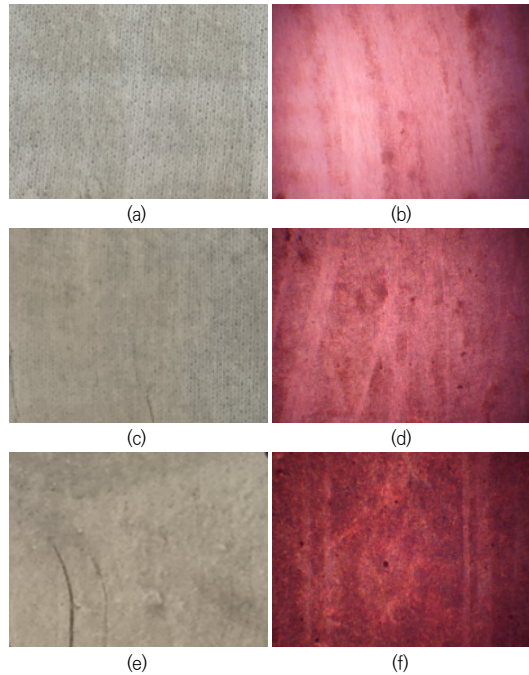


Fig. 3. Camera microscope images of the surface of samples coated with CNT and Ag nanowires (a) and (b) two times, (c) and (d) four times, and (e) and (f) five times, respectively

### 3.2 CNT와 Ag 나노 와이어 형성된 표면 형상

코팅 횟수에 따른 글라스 표면의 변화를 Fig. 3처럼 실제 이미지와 광학 현미경을 이용하여 관찰하였다. 실제 이미지는 샘플을 실험용 면에 올려놓고 촬영하였다. 그 이유는 코팅에 따른 투과도를 간접적으로 관찰하기 위해서다.

카메라 이미지인 Figs. 3(a), 3(c), 3(e)를 통해 나노 물질이 형성될수록 색깔이 변화하는, 즉 투과도가 낮아지는 경향을 보이는 것을 명확하게 확인할 수 있다. CNT는 나노 길이를 가진 carbon으로 구성되어 있기 때문에 코팅 횟수가 늘어날수록 검은색 띠가 관찰될 수 있으며, Ag도 나노 길이의 실처럼 형성된 물질이 구현되므로 은색의 빛을 내는 영역이 증가하는 것을 예상할 수 있으나 관찰되

는 색깔은 노란색에 가까웠다. 또한, 나노 물질이 묻쳐서 코팅되는 영역도 증가하는데, 이는 균일하게 나노 물질이 형성되지 못하기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 이러한 문제는 용액 코팅 전에 stirrer를 사용한 교반 방법을 사용하여 나노 물질이 균일하게 섞이도록 한다면 해결할 수 있으며, 교반시 자석을 회전시키는데 너무 빠르게 회전하면 나노 물질을 더 작게 분해시킬 수 있으므로 회전 속도를 조절해야 할 것이다. 추가적으로 현미경램프를 같은 조도로 맞춰 관찰한 이미지인 Figs. 3(b), 3(d), 3(f)에서도 코팅 횟수를 증가함에 따라 붉은색이 짙어지고 있으며, 이는 투과도는 낮아지는 것을 의미한다.

글라스를 이용하여 용액을 아래에서 위로 이동하는 공정법으로 인해 세로방향으로 라인이 관찰되며, 이는 균일한 힘을 가할 수 있도록 시스템을 구성하면 해결이 가능하다.

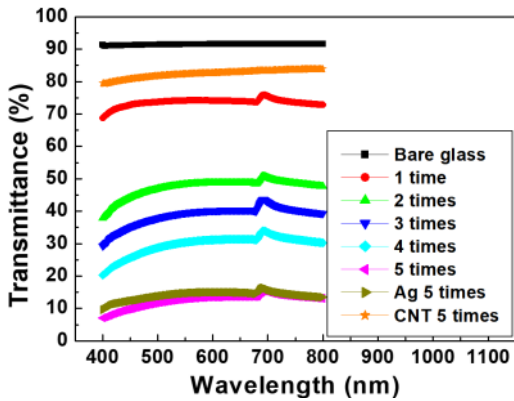


Fig. 4. Transmittance spectrum according to wavelength when CNT and Ag were processed 1, 2, 3, 4, and 5 times. For comparison, samples coated with only bare glass, CNT, and Ag nanowires separately 5 times were also measured

### 3.3 CNT와 Ag 나노 와이어 형성된 코팅막의 광학 및 전기적인 특성

연구에 사용된 CNT와 은 나노 물질은 나노 크기의 튜브와 와이어로 구성되므로 투명한 유리상에 형성되면 빛이 투과를 할 수 있다. 이러한 투과도 추이를 조사하기 위하여 광학적인 특성을 분석하기 위한 장비로 측정하여 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 비교를 위하여 코팅되지 않은 글라스, CNT와 은 나노 와이어만 각각 5번 코팅한 샘플

도 제작하여 측정한 결과를 포함시켰다.

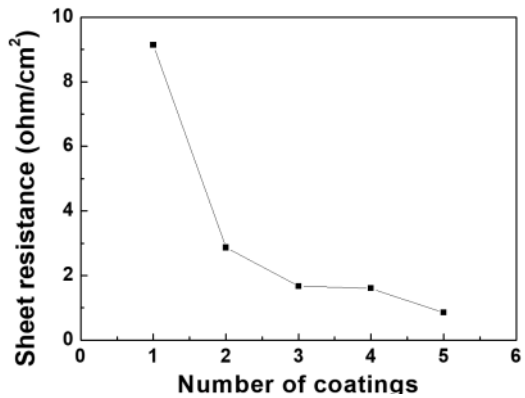


Fig. 5. Change in surface resistance according to wavelength when CNT and Ag were processed 1, 2, 3, 4, and 5 times

코팅 횟수가 증가할수록 측정 파장 모든 영역에서 빛의 투과도는 낮아졌으며, 특히 2번과 5번 코팅했을 때 변화폭이 컸다. 1번 코팅한 샘플에서도 투과율 70% 정도로 확인되며, 이러한 감소는 Ag 나노 와이어 층에 의한 것으로 설명될 수 있다. 그 이유는 5번 CNT만 코팅한 샘플도 대략 400nm 영역을 제외하면 전 영역에서 80%를 넘는 값을 나타내기 때문이다. 700nm 근처를 기점으로 큰 변화를 보인다. 가장 낮은 측정 파장인 400nm에서 700nm까지는 파장에 따라 작지만, 증가하는 경향을 보이는 반면, 700nm에서 800nm 영역은 감소하는 데이터를 나타내며, 이러한 경향은 은 나노 와이어의 특성으로 설명될 수 있다. CNT를 5번 코팅했을 때는 파장에 따라 증가하지만, Ag 나노 와이어를 5번 코팅한 샘플에서는 비슷한 현상을 관찰할 수 있기 때문이다. 또한, Ag 나노 와이어를 5번 코팅한 샘플과 CNT와 Ag를 5번 코팅한 샘플을 비교했을 때, 투과도에 영향을 미치는 막은 CNT보다 Ag 나노 와이어임을 알 수 있다.

다음으로 전도성 코팅 막의 전기적인 특성을 분석하기 위하여 표면 저항 측정 장비로 데이터를 추출하였고, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 또한, 그래프에 나타내지 않았지만, CNT와 Ag 나노 와이어만 5번 코팅한 샘플의 표면 저항은 각각  $1384 \Omega/\text{cm}^2$ 과  $0.713 \Omega/\text{cm}^2$ 으로 측정되었다.

1번 코팅했을 때  $9 \Omega/\text{cm}^2$ 에서 5번 코팅을 진행하였을 때  $0.856 \Omega/\text{cm}^2$ 으로 낮아지는 경향을 보였다. 특히, 투

과도와 유사하게 1번에서 2번 코팅했을 때 그 변화값이 가장 큰 것을 알 수 있는데, Ag에 의한 것으로 판단된다. 그 근거로는 CNT만 5번 코팅한 샘플의 저항은  $1384\Omega/\text{cm}^2$ 과로 상당히 큰 값을 나타내지만, Ag만 5번 코팅한 샘플은  $0.713\Omega/\text{cm}^2$ 으로 매우 작은 값을 보이기 때문이다. CNT는 저항 감소에 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

### 3.4 선행 연구 결과와의 비교 분석

제안된 연구와 유사한 선행 실험 결과와 비교한다면, CNT만 스핀 코팅 후 상압플라즈마로 열처리를 대신하는 과정을 5번 반복한 결과의 경우 저항값은  $\sim 1000\Omega/\text{cm}^2$  정도로 유사하지만, 투과도는 제안한 연구 실험보다 전 파장 영역에서 10% 이상 증가하였음을 알 수 있다[10]. 이는 본 코팅 방법으로 CNT만 코팅한다면, 기존의 스핀 코팅 공법보다 우수한 전기적, 광학적 특성을 얻을 수 있음을 의미한다.

추가적으로, Ag 나노와이어만 브러시를 이용한 코팅 후 상압플라즈마로 열처리를 대신하는 과정을 5번 반복한 결과의 저항값은  $350\Omega/\text{cm}^2$ , 투과도는 동일한 측정영역에서 80%로, 본 연구에서의 실크 스크린 프린팅 기법으로 Ag 나노와이어만 5번 코팅한 샘플의 저항값은  $0.713\Omega$ 로 매우 작은 값을 나타내었으며, 투과도는 20% 이하로 측정되었다[12]. 제안한 코팅 기법으로는 매우 작은 표면 저항을 얻을 수는 있지만, 투과도는 상당히 감소하는 것을 알 수 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 실크 프린팅 기법으로 CNT와 Ag 나노와이어 용액 물질을 투명한 소재인 글라스에 반복적으로 형성시킨 후 광학 및 전기적 물성에 대해 평가하였다.

사용된 실크 프린팅 코팅법은 막이 형성되어야 할 글라스를 놓고, 글라스 코팅면의 아래 부분에 주사기를 이용하여 3방울 떨어뜨리고, 가장자리 면의 거칠기가 매우 작고 얇은 글라스로 아래쪽에서 위쪽으로 밀어서 글라스 전면에 원하는 소재가 도포되도록 한다. 이어서 용액에 있는 용매를 증발시키기 위하여 hot plate로 가열한다. 이러한 방법으로 먼저 CNT를 코팅하고, 다음으로 Ag 나노와이어를 형성하면 1번 나노 물질이 덮혀있는 샘플이 완성된다. 이 코팅 방법은 용액을 많이 사용하고 코팅이

마무리되는 위쪽 부분에는 이러한 용액이 남는 문제점이 있으며, 향후 균일하게 막을 형성하기 위하여 해결해야 할 부분이다. 또한, 코팅된 막에서 글라스의 이동 경로를 확인할 수 있는 세로 방향의 흔적이 발견되지만 이러한 현상은 균일한 힘을 가할 수 있는 자동 시스템을 구축하면 이러한 흔적을 제거할 수 있을 것이다. 코팅 횟수에 따른 표면에 형성된 소재 특성 변화를 파악하기 위해 5번까지 반복하여 총 5개의 샘플을 제작하였고, 추가적으로 CNT와 Ag 나노와이어만 5번 코팅한 샘플도 비교를 위하여 준비하였다.

CNT와 Ag 나노와이어의 표면 형상은 코팅 횟수가 증가할수록 투명도는 급격하게 낮아짐을 관찰할 수 있었다. 이러한 코팅된 막의 빛 투과성을 측정하였으며, CNT보다 Ag 막에 의해 큰 영향을 받았음을 확인하였다. Ag 나노와이어 용액에 Ag 농도를 줄여 투과도 감소폭을 줄이는 것도 향후 연구가 필요한 분야로 판단된다. 700nm를 기점으로 400nm에서 700nm로 파장이 변할 때 투과도는 증가하지만, 700nm 이상에서는 감소하는 현상을 나타내며, 이러한 경향도 Ag 나노와이어 때문으로 확인되었다. 다음으로 전도성 나노 물질의 표면 저항을 조사하였으며, 1번 코팅에도  $10\Omega/\text{cm}^2$ 이하의 값을 보였다. CNT만 5번 코팅한 샘플의 저항값이  $1384\Omega/\text{cm}^2$ 임을 고려한다면, 이러한 전기적인 특성에도 Ag 나노와이어가 큰 영향을 미치는 것을 검증할 수 있었다. 이를 통해 전자 소자를 구현하기 위하여 요구되는 전도도와 투과도를 가지는 기판을 구현할 수 있는 가능성을 제시하는데 연구의 목적이 있다. 향후 Ag 나노와이어의 Ag 농도나 다른 방법으로 용액을 개발한 후 투명도가 높은 CNT와의 융합으로 기판을 만들어 이 기판상에 광전자소자를 제작하여 소자의 특성을 평가하고자 한다.

## REFERENCES

- [1] J. W. Kim & T. H. Kim (2013). Liquid Crystal Modes for Display Applications. *Korean Journal of Optics and Photonics*, 24(4), 168-175. DOI : 10.3807/KJOP.2013.24.4.168
- [2] A. Rjoub, B. Tarawneh & R. Alghsoon (2019). Active matrix organic light emitting diode displays (AMOLED) new pixel design. *Microelectronic Engineering*, 212, 42-52. DOI : 10.1016/j.mee.2019.04.001

- [3] L. J. Kim, S. J. Jung, H. J. Kim, B. H. Kim, K. J. Kwon, Y. M. Ha & H. J. Kim (2022). Image quality enhancement in variable-refresh-rate AMOLED displays using a variable initial voltage compensation scheme. *Scientific Reports*, 12, 5977. DOI : 10.1038/s41598-022-09892-5
- [4] K. B. Kim, J. P. Lee, M. J. Kim & Y. S. Min (2019). Characteristics of Excimer Laser-Annealed Polycrystalline Silicon on Polymer layers. *Journal of Convergence for Information Technology*, 9(3), 75-81. DOI : 10.22156/CS4SMB.2019.9.3.075
- [5] X. Gao, L. Lin, Y. Liu & X. Huang (2015). LTPS TFT Process on Polyimide Substrate for Flexible AMOLED. *Journal of Display Technology*, 11(8), 666-669. DOI : 10.1109/JDT.2015.2419656
- [6] M. J. Kim & G. H. Jin (2009). ITO/AlNdN/Al contact process for active matrix OLED displays. *Electronics Letters*, 45(8), 421-423. DOI : 10.1049/el.2009.0037
- [7] N. Ren, J. Zhu & S. Ban (2017). Electrical Properties of ITO/Ag/ITO Conducting Transparent Thin Films. *AIP ADVANCES*, 7(5), 055009-1-055009-7. DOI : 10.1063/1.4982919
- [8] K. B. Kim, J. P. Lee & M. J. Kim (2020). Optical and electrical properties of AZO thin films deposited on OHP films. *Journal of Convergence for Information Technology*, 10(9), 28-34. DOI : 10.22156/CS4SMB.2020.10.09.028
- [9] H. Khachatryan, K. B. Kim, & M. J. Kim (2020). Fabrication of Flexible Carbon Nanotube Network on Paper Substrate: Effect of Post Treatment Temperature on Electrodes. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 15, 1442-1449. DOI : 10.1166/jno.2020.2896
- [10] K. B. Kim, J. P. Lee & M. J. Kim (2022). Development of CNT Coating Process using Argon Atmospheric Plasma. *Journal of Industrial Convergence*, 20(10), 33-38. DOI : 10.22678/JIC.2022.20.10.033
- [11] M. J. Kim. (2022). Fabrication of an Oxide-based Optical Sensor on a Stretchable Substrate. *Journal of Industrial Convergence*, 20(12), 79-85. DOI : 10.22678/JIC.2022.20.12.079
- [12] K. B. Kim (2023). Effects of Brush Coating of Ag Nanowire Solution and Annealing using Plasma Process for Flexible Electronic Devices. *Journal of Industrial Convergence*, 21(3), 189-194. DOI : 10.22678/JIC.2023.21.3.189

김 무 진(Kim, Moojin)

[정회원]



- 2005년 2월 : 포항공과대학교 전기전자공학과(공학박사)
- 2005년 2월~2012년 8월 : 삼성디스플레이(책임연구원)
- 2012년 8월~2015년 3월 : 포스코(책임연구원)

- 2015년 4월~2020년 2월 : 중원대학교 전기전자공학전공 교수
- 2020년 3월~현재 : 강남대학교 전자공학전공 교수
- 관심분야 : Solar Cell, Display, Semiconductor, Laser
- E-Mail : moojinkim7@kangnam.ac.kr