



<연구논문>

ISSN 1225-8024(Print)
ISSN 2288-8403(Online)

한국표면공학회지
J. Korean Inst. Surf. Eng.
Vol. 49, No. 6, 2016.

<https://doi.org/10.5695/JKISE.2016.49.6.575>

포토리소그래피 공정으로 제작된 터치스크린패널용 금속메시

김서한, 송풍근*

³부산대학교 재료공학과

Thin Metal Meshes for Touch Screen Panel Prepared by Photolithography

Seo-Han Kim, Pung-Keun Song*

Department of Materials Science and Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

(Received December 23, 2016 ; revised December 29, 2016 ; accepted December 30, 2016)

Abstract

The metal mesh films with thickness of 1.0, 1.5, 2.0 μm were prepared by photolithography using Ag, Al, and Cu metals. Every metal films were showed C(111) preferred orientation and Ag showed the lowest resistivity and followed by Al and Cu. The transmittance of almost films were higher than 90%. But, the Ag film with thickness of 2.0 μm was delaminated during photolithography process due to low adhesion. So, Cu and Ti metal films were introduced under Ag film to improve adhesion property. The Cu film showed higher adhesion properties compared to Ti film. Furthermore, the Ti films that deposited on Ag film showed higher acid resistance.

Keywords : Metal mesh, Photolithography, Adhesion, Touch screen panel

서 론

Transparent Conductive Oxide (TCO)는 현재 display, solar cell, TSP(Touch screen panel)등 다양한 분야에 적용되고 있으며 많은 연구가 진행되어 왔다. 이에 따라 각종 소자의 개발이 가속화 되면서 이러한 소자에 필요한 필수적인 투광성과 전기 전도성이 우수한 투명 전극용 재료의 개발이 활발하게 이루어지고 있다[1-2]. 특히, ITO (Indium tin oxide)는 마그네트론 스퍼터링법을 사용하여 증착면적이 대형화됨에 따라 디스플레이에 사용되기 시작하였다. 최근 스마트 산업이 발전함에 따라 터치패널이 차지하는 비중이 증가하고 그 중요성이 커지면서 고 감도, 고 해상도를 가지는 투명전극재료 기술에 대

한 요구가 증가하고 있다[2-4]. 기존의 TCO에 대한 연구가 많이 진행되어 왔지만 희토류금속 사용으로 인한 높은 원가, sputtering 중 고 에너지 입자에 의한 박막 손상, 대면적화에 따른 면저항 감소 등의 문제가 존재한다. 이러한 문제를 극복하기 위해 metal mesh, one-dimensional imprinted metal electrode, solution-processed random metal nano wire, graphene, nano mesh 등 많은 대체 재료들이 개발되고 있지만 실용화하기에는 기술이 부족한 실정이다[3,5]. 그 중 최근 metal mesh에 대한 가능성이 대두되면서 gravure offset 방식과 photolithography 법으로 제작되어 연구가 진행 중에 있다. Gravure offset 방식은 blanket roll에 전도성 ink를 찍어 target surface에 그대로 인쇄하는 방식으로 공정비용 면에서 매우 절약 되지만, 미세 패턴을 구현할 수 없다는 단점이 있다. 하지만, photolithography방법은 mask를 이용하여 $\sim 5.0 \mu\text{m}$ 급의 미세패턴 구현이 가능하여 습식·건식의 에칭 공정 적용이 가능하다는 장점이 있다[5-6].

*Corresponding Author : Pung-Keun Song

Department of materials science and engineering, Pusan national University
Tel : +82-51-510-2390 ; Fax : +82-51-512-0528
E-mail : pksong@pusan.ac.kr

Metal mesh film은 높은 투과도에 금속 물질에 기반한 낮은 면저항의 장점을 가지고 있지만 금속의 반사에 기인한 star burst와 미세패턴에 의한 moiré, 금속 산화에 의한 낮은 접착력 등의 단점을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 photolithography 법을 이용하여 honey comb, square 두 가지 타입의 mesh film을 각 은, 알루미늄, 구리로 제작하여 광학적, 전기적 특성을 평가하고 접착력 향상을 위한 다층 mesh film을 제작 후 평가하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 50 mm × 50 mm 크기의 유리기판 위에 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 은, 알루미늄, 구리 금속 박막을 1.0, 1.5, 2.0 μm 두께로 증착한 뒤 photolithography 공정을 진행하여 mesh film을 구현하였다. 증착 전 챔버 내의 작업압력은 약 1.0×10^{-6} torr (1.33×10^{-4} Pa)까지 배기하였으며, 증착 압력은 7.5×10^{-3} torr (1Pa)을 유지하였다. 스퍼터링 타깃으로는 직경 3 inch 크기의 은, 알루미늄, 구리 금속 타깃을 구리 backing plate에 접합하여 사용하였고, 기판과 타깃 사이의 거리는 70 mm로 유지하였으며 증착 중 DC 파워는 200 W로 고정하여 진행하였다. Mesh 제작을 위한 mask 형태는 honey comb, square 두 가지 타입이 적용되었다. Honey comb 타입의 경우 선폭 및 선 간격은 각각 10, 1000 μm이고, square 타입의 경우 선폭 및 선 간격은 각각 15, 500 μm로 하였다. 유리기판상에 증착된 금속 박막 상부에 spin coater를 이용하여 PR (Photo resist, AZ5214)을 도포하였으며, 도포 후 120°C에서 2분간 열처리를 진행하였다. 열처리된 PR에 honey comb와 square 타입의 mask를 사용하여 노광을 진행하였고 노광 후 에탄올을 사용하여 노광되지 않은 부분의 PR을 제거하였다. PR제거 후, metal etchant 용액에 샘플을 침지하여 금속 박

막의 etching 공정을 진행하였다. Etching 후 acetone 용액에 침지하여 남은 PR을 모두 제거하였으며 제작된 mesh film의 구조적, 광학적 특성 및 전기적 특성을 평가하였다. 박막의 전기적 특성은 Hall-effect measurements system (ECOPIA, HMS300)을 통해 측정하였으며, 광학적 특성은 US-VIS system (Shimatzu, UV1800), 구조적 특성 평가는 XRD (CuKα radiation at 40 Kv-40 mA, θ-2θ mode, GADDS, BRUKER)을 통해 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

은, 알루미늄, 구리 금속을 이용하여 DC magnetron sputtering 법으로 각 1.0, 1.5 및 2.0 μm 두께를 가지는 박막 제작 후, honeycomb, square 두 가지 타입의 mesh film을 제작한 뒤 특성평가를 진행하였다. 그림 1은 mesh 제작 전 금속 박막의 XRD 결과이다. 세 종류의 금속 모두 결정화 된 것을 확인할 수 있었으며, 모든 박막이 C(111) 우선 배향을 하는 것을 확인할 수 있었다. 모든 박막에서 두께가 증가함에 따라 주 성장 peak C(111)의 강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 유리기판상에 박막이 잘 형성된 것으로 판단된다.

그림 2는 본 연구에 사용된 mesh film의 선폭 및 선 간격을 광학현미경으로 관찰한 결과이다. 그림 2(a), (b)는 honeycomb 형태의 mesh film의 사진으로 선폭 및 선 간격은 각 10, 1000 μm이고, (c), (d)는 square 형태의 mesh film의 사진으로 선폭 및 선 간격은 15 μm, 500 μm로 mesh 제작에 사용된 mask design과 일치하는 것을 확인하였다. 또한, mesh film 상부 전체를 확인하였을 때 단선 및 불균일한 부분 없이 잘 형성된 것을 확인할 수 있었다. Honeycomb, square 두 타입의 mesh를 은, 알루미늄 및 구리 금속에 대하여 1.0, 1.5, 2.0 μm 두께별로 제작 후 전기적·광학적 특성을 평가하였다.

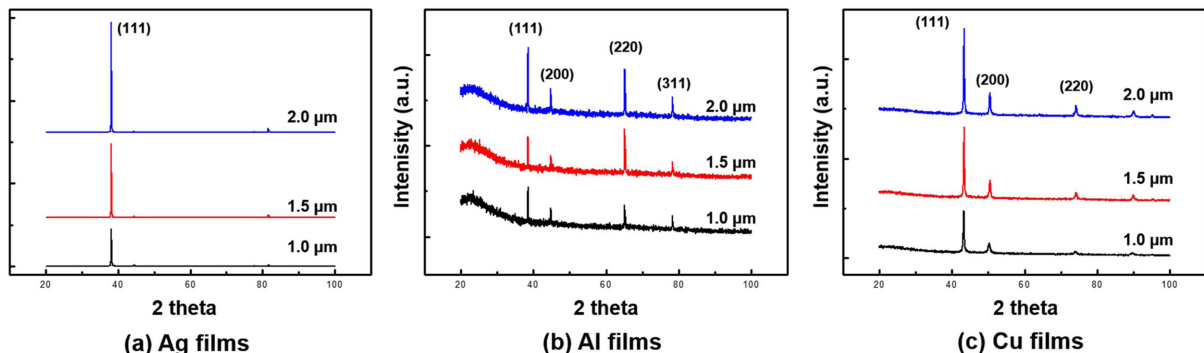


Fig. 1. XRD patterns of metal films.

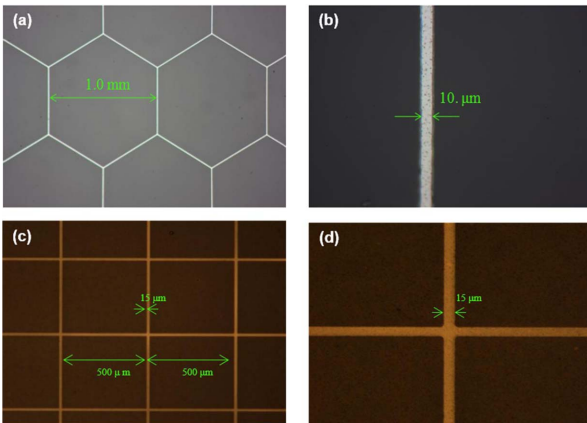
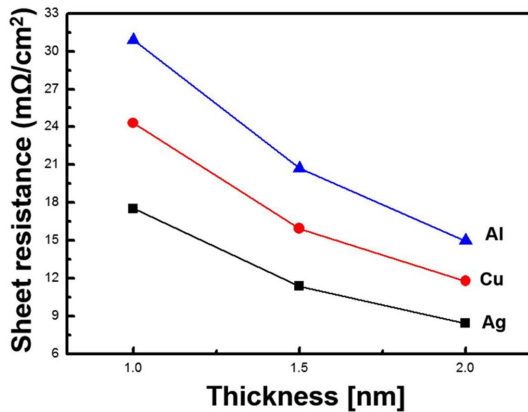
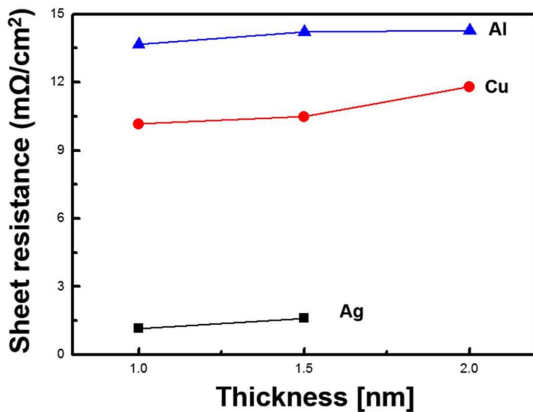


Fig. 2. Images of metal mesh films ((a) honeycomb, (b) square).



(a) Sheet resistance of metal films



(b) Sheet resistance of metal mesh films

Fig. 3. Sheet resistance of (a) metal films and (b) metal mesh films.

그림 3은 square type으로 제작한 은, 알루미늄, 구리 박막에 대하여 (a)는 mesh화하기 전, 그리고 (b)는 mesh film의 면저항을 나타낸 것이다. 그림 3 (a)의 경우, mesh화하기전의 모든 금속 박막의 면저항은 두께가 증가함에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 또한 은, 알루미늄, 구리 순으로 낮게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이 결과는 두께가 증

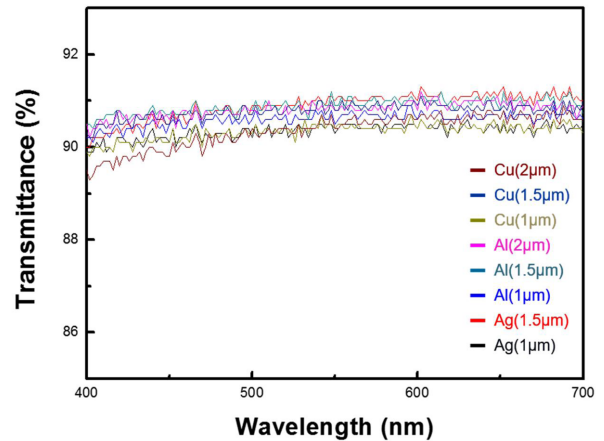


Fig. 4. Transmittance of various metal mesh films with thicknesses.

가함에 따라 자유전자 증가에 기인한 것으로 판단되며, 각 금속의 고유 비저항에 따라 나타난 것으로 판단된다(은 : ~15.87 nΩ·m, 알루미늄 : ~26.5 nΩ·m, 구리 : ~16.78 nΩ·m). 그림 3(b)는 mesh film의 면저항을 나타낸다. Mesh화 후에도 면저항의 순서는 동일하게 은, 알루미늄, 구리 순으로 나타났지만 두께 2.0 μm의 은 박막은 박리로 인해 제작할 수 없었다. 이 결과는 mesh film 제작과정 중 은 박막과 유리 기판사이의 접착력에 기인한 것으로 판단된다. Mesh 제작과정은 photolithography 법을 통해 제작되었으며, mesh 제작 공정 중 PR 제거 및 etching 공정에서 에탄올과 DI water 노출에서 발생한 은 박막의 산화에 의해 박리가 발생된 것으로 판단된다.

그림 4는 은, 알루미늄, 구리 mesh film의 광학적 특성을 나타낸 것이다. 투과도는 모두 90% 이상인 것으로 나타났으며, b*는 모두 0.13 수준으로 동일하게 나타났다. 위의 실험결과 은이 TSP 전극으로 사용하기에 가장 적합한 metal mesh 전극으로 판단되었지만 그림 3에 나타나듯이 은 두께 2.0 μm 박막의 경우 접착력이 부족하다고 판단되어 접착력 향상을 위한 실험을 진행하였다.

그림 5는 접착력 향상을 위해 티타늄, 구리 박막을 아래층에 접착력 향상층으로 도입하고 상부에는 산화 및 부식방지를 위한 티타늄 층을 증착하여 제작한 샘플의 XRD 결과이다. 접착력 향상을 통한 전도층으로 삽입된 은 박막층의 두께는 1.0 μm로 고정하였으며, 하부의 접착력 향상층으로 도입된 티타늄, 구리 층의 두께는 150 nm로 고정하였다. 또한, 상부의 산화 및 부식방지를 위한 티타늄 층의 두께는 각 50, 150, 250 nm로 증착하여 결정성을 평가하였다. 결정성 평가는 XRD 측정을 통해 이루어졌으며, 순수 은만 증착된 경우 가장 높은 C(111)

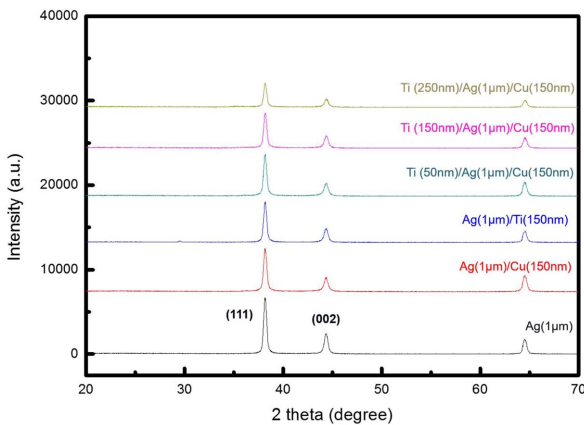


Fig. 5. XRD patterns of Ag films with Cu and Ti layers.

peak 강도를 나타내었으며 상·하부에 금속층의 두께가 증가함에 따라 peak의 강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 이 결과를 통하여 모든 박막에서 금속층이 잘 형성된 것을 확인할 수 있었으며 결정성에 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다.

그림 6은 Ag, Cu/Ag, Ti/Ag, Cu/Ag/Ti (Ti : 50, 100, 150 nm) 층의 두께에 따른 부식 전·후의 전기적 특성을 평가한 것이다. 부식은 HCl 농도 2N 용액에 5분간 침지 후 세척 및 건조를 진행하여 전기적 특성을 평가하였다. 그림 6에서 나타나듯이 샘플 1~4는 부식실험에 따라 비저항이 증가하는 것을 경향을 나타내었지만 샘플 5, 6은 부식 전·후의 비저항이 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 이 결과를 통해 상부의 티타늄 박막 층 두께 100 nm 이상 형성된 경우 부식에 대한 저항성이 높아진다는 것을 알 수 있었다. 박막의 전도도는 은 층에 의해 이루어지는데 상부의 티타늄 박막이 산소의 확산에 대한 barrier막으로 작용하여 은 층의 산화를 억제함으로써 전도가 잘 이루어진 것으로 판단된다.

그림 7은 Ag, Cu/Ag, Ti/Ag, Cu/Ag/Ti (Ti : 50, 100, 150 nm) 층의 두께에 따른 광학적 특성을 나

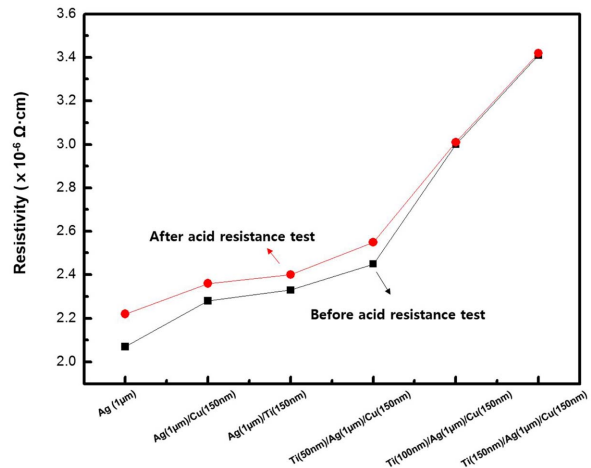


Fig. 6. Electrical properties of metal mesh films before and after acid resistance test.

타낸 결과이다. 모든 샘플의 투과율은 550 nm 파장대에서 약 88.5%를, 반사율은 약 11%를 나타내었다. 샘플에 따른 큰 차이는 없었으며 작은 차이는 존재하였지만 오차범위라고 생각된다.

그림 8은 Ag, Cu/Ag, Ti/Ag, Cu/Ag/Ti (Ti : 50, 100, 150 nm) 샘플의 접착력 test 결과이다. 접착력 test는 3M tape를 이용하여 mesh화하지 않은 금속 박막위에 접착시킨 후 가로, 세로 10줄 씩 자른 후 박리되지 않은 면적을 계산하여 접착력을 평가하였다. 은 단층 박막의 경우 약 40%의 박막만 남고 모두 박리된 것을 확인할 수 있었다. 구리와 티타늄을 접착력 향상 층으로 삽입하였을 경우 Cu/Ag가 약 81%, Ti/Ag가 약 70% 정도 남고 모두 박리된 것을 확인할 수 있었다. 앞선 실험 결과에 따라 구리가 접착력 향상층으로 더 적합하다고 판단하여 상부의 산화 방지층으로 티타늄을 50, 100, 150 nm로 두께를 달리하여 실험을 진행하였다. 같은 방식으로 전층 박막 형성 후 mesh화하지 않은 상태에서 접착력 test를 진행하였다. Cu/Ag/Ti (50 nm) 샘

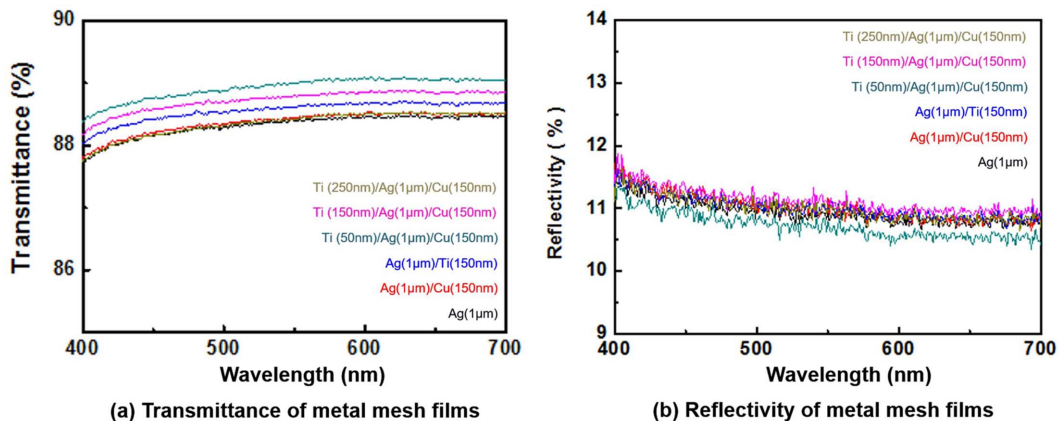


Fig. 7. Optical properties of metal mesh films.

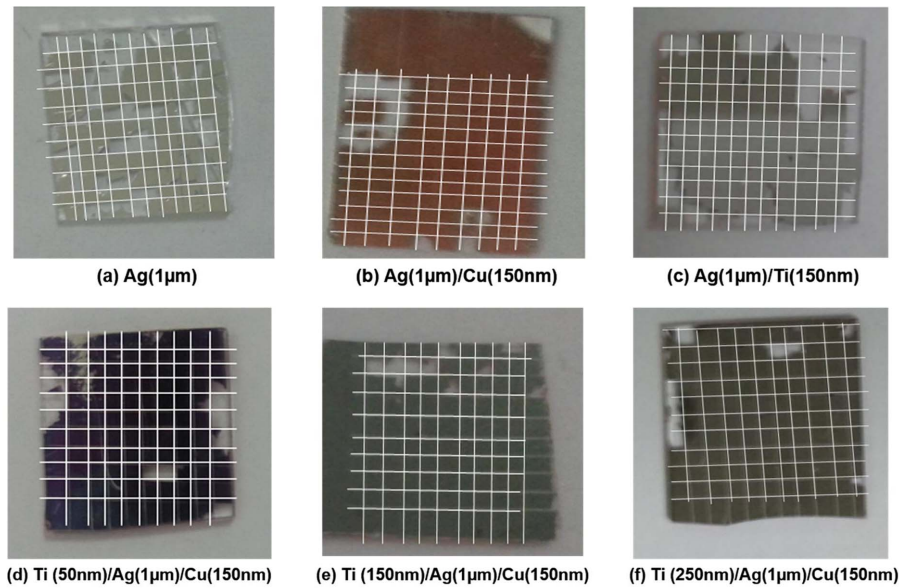


Fig. 8. Adhesion test results of metal mesh films.

플의 경우 Cu/Ag 샘플과 큰 차이를 보이지 않았지만, 티타늄 150 nm 이상의 두께에서는 90% 이상의 박막이 남으며 매우 높은 접착력을 나타내었다. 결과적으로 상부의 티타늄 층은 내산성 및 접착력 향상 층으로 효과가 있다고 판단된다.

4. 결 론

Metal mesh film을 다양한 금속 및 두께에 따라 제작하고 전기적·광학적 특성 및 접착력을 평가하였다. 은, 알루미늄, 구리 금속을 이용하여 square type의 mesh film을 1.0, 1.5, 2.0 µm 두께로 제작하였으며 광학적특성은 모든 박막이 90% 이상으로 동일한 수준을 나타내었지만 전기적특성은 은, 알루미늄, 구리 순으로 나타났으며 은의 경우 2.0 µm 박막은 접착력 문제로 인하여 제작할 수 없었다. 은 박막의 접착력 향상을 위하여 상·하부에 구리 및 티타늄 금속층을 삽입하여 평가를 진행하였고, 은 층 하부에 구리가 삽입된 경우 더 높은 접착력을 나타내었다. 또한, 상부에 티타늄 층이 100 nm 이상 증착된 경우 내산성 및 접착력이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 접착력이 우수한 구리 층을 하부에 삽입하고 전도성이 높은 은을 전도 층으로, 내산성이 뛰어난 티타늄을 상부에 증착하면 은 또는 구리 단일층보다 좋은 내구성을 가지는 metal mesh film을 제작할 수 있다고 판단된다.

후 기

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

References

- [1] D. K. Shin, J. W. Park, Suppression of moiré phenomenon induced by metal grids for touch screen panels, *J. Display Technology*, Vol. 12, No.6, (2016), 632-638
- [2] M. Aryal, J. Geddes, O. Seitz, J. Wassei, I. McMackin, B. Kobrin, Sub-micron transparent metal mesh conductor for touch screen displays, *SID 2014 DIGEST*, 16.1, (2014), 194-196
- [3] I. Nojiri, T. Ono, M. Agari, S. Mori, T. Imamura, T. Miyayama, N. Nakagawa, High-performance mutual-capacitive touch screen using double-layered metal-mesh electrodes with separated floating electrodes, *SID 2015 DIGEST*, 38.2, (2014), 544-547
- [4] J. H. Park, D. Y. Lee, Y. H. Kim, J. K. Kim, J. H. Lee, J. H. Park, T. W. Lee, J. H. Cho, Flexible and transparent metallic grid electrodes prepared by evaporative assembly, *Appl. Mater. Interfaces*, Vol.6, (2014), 12380-12387
- [5] D. K. Shin, J.W. Park, Design of moiré-free metal meshes using ray tracing for touch screen panels, *Displays*, Vol.5 (2015), 9-19
- [6] D. K. Shin, J.W. Park, Angular dependence of moiré fringes induced by metal grids for touch screen panels, *J. Display Technol*, (2015), Vol.11, No.1, 110-117