

Sapphire Glass 기반 다층박막 터치패널구조의 광학특성 연구

곽영훈^a, 문성철, 이지선, 이성의

한국산업기술대학교 신소재공학과

A Study on the Optical Characteristics of Multi-Layer Touch Panel Structure on Sapphire Glass

Young Hoon Kwak^a, Seong Cheol Moon, Ji Seon Lee, and Seong Eui Lee
 Department of Advanced Material, Korea Polytechnic, Si-hung 15073, Korea

(Received January 10, 2016; Revised February 15, 2016; Accepted February 24, 2016)

Abstract: A conductive oxide-based sapphire glass indium tin oxide/metal electrode and the optical coating, through patterning process was studied in excellent optical properties and integrated touch panel has a high strength. Indium tin oxide conductive oxides of the sapphire glass to 0.3 Å at DC magnetron sputtering method of 10 min, gas flow Ar 10 Sccm Ar, O₂ 1.0 Sccm the formation conditions of the thin film after annealing at 550°C for 30min was achieved through a 86% transmittance. In addition, the coating 130 nm hollow silica sol-gel was to improve the optical transmittance of the indium tin oxide to 91%. For the measurement by the modeling hollow silica sol by Macleod simulation and calculated the average values of silica part to the presence or absence in analogy to actual. Refractive index value and the actual value of the material on the simulation the transmittance difference is it does not completely match the air region similar to the actual value (transmission) could be confirmed that the measurement is set to a value of between 5 nm and 10 nm.

Keywords: Sapphire, ITO, Silica, Silica hollow powder, Touch panel

1. 서 론

광학부품 혹은 디스플레이용 소자의 경우 광학특성이 매우 우수해야 하고 동시에 소자에 따라 센서 기능을 부여하기 위하여 다층 산화물/금속 구조 및 패터닝 공정이 요구된다. 현재 터치 패널은 강화 글라스에 다층의 indium tin oxide film/OCA를 부착하는 GFF 타입 구조의 터치패널이 상용화 되고 있으나 indium

tin oxide/OCA 필름이 계속 중첩된 구조에 의한 광학특성이 저하 및 복잡한 공정에 따라 최근 우수한 광학특성과 단순한 구조를 갖는 커버유리 터치 일체형 방식(G2/G1F)으로 빠르게 전환되고 있는 추세이다. 커버글라스 일체형 방식은 별도의 센서 층이 없고 커버글라스에 직접 indium tin oxide/금속 절연 층을 직접 코팅하는 일체형 구조이며, 광학특성이 우수하고, 재료비가 적고 얇고 가벼운 컴팩터를 구현 할 수 있다. 그러나 기판에 직접 공정을 처리함으로써 터치패널(G2/G1F) 공정상 indium tin oxide/금속증착(플라즈마), 패턴공정(열처리), 절연막/필름 형성 등에 인한 기판 결함발생 가능성이 높다. 또한, 기판에 직접 공정 처리 할 경우, 화학적 강화에 의한 강화글라스는 다층(indium tin oxide/금속) 박막을 코팅 시 플라즈마에

a. Corresponding author; selee@kpu.ac.kr

의한 표면 영향과 indium tin oxide 재결정을 위한 열처리 시 화학 강화 풀림 현상이 발생되어 제조 수율이 현저히 낮아진다. (강화글라스 600 MPa : 레이저 가공 후 300 MPa 감소 열에 의한 강화 풀림현상) 이의 개선을 위해 기존 강화글라스를 대체한 사파이어 기판 도입함으로써 공정상 추가적인 표면 처리를 하지 않고 높은 강도와 내구성의 사파이어 글라스에 직접 indium tin oxide/금속 전극 및 절연코팅, 패터닝 공정을 통하여 우수한 광학특성과 높은 강도와 내구성을 갖는 커버 글라스 일체형 터치 패널을 구현하였다.

2. 실험 방법

2.1 전도성 산화물(indium tin oxide) 스퍼터링

그림 1은 indium tin oxide를 증착하는 DC 스퍼터링 장비와 모식도이다. Target이 위에 달려있으며 증착할 기판 및 샘플은 아래에 놓아 증착한다. 장비의 base pressure은 6.0×10^{-6} 이며, working pressure은 2.5×10^{-3} 에서 진행하였다. 기본적인 indium tin oxide 박막 후 투과율을 보기 위하여 기판을 0.5 T 두께의 sapphire glass를 사용하였다. Indium tin oxide 박막의 광 특성 최적 조건을 얻기 위하여 DC power와 증착시간의 변수를 두어 증착하였다.

표 1은 그에 대한 조건 표이다. DC Power를 0.15, 0.25, 0.3 A으로 변수를 두어 적용하였고, Ar:(Ar+O₂) gas는 10:0.1 주입하여 10분 증착하였다. DC power를 변수로 두어 진행한 샘플에 광 투과율이 우수한 조건의 DC power를 적용하여 증착시간을 5, 10, 20, 30분으로 변수를 두어 증착하였다.

또한 표 2와 같이 광 투과율이 우수한 조건의 샘플을 소성로 장비를 이용하여 200, 300, 400, 500°C에서 30분 열처리를 하여 광학 특성 평가하였다 [1-3].

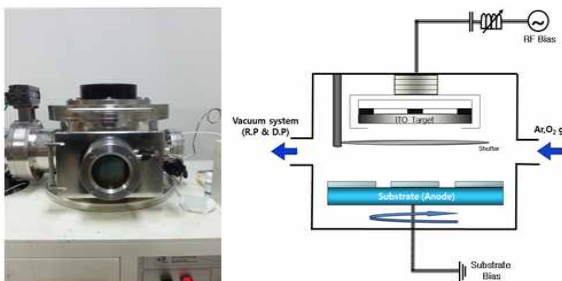


Fig. 1. Indium tin oxide sputter.

Table 1. Indium tin oxide sputtering condition

| Process | Condition |
|--------------------------------------|----------------------|
| Substrate | Sapphire glass |
| Target | Indium Tin Oxide |
| DC Power [A] | 0.15, 0.25, 0.3 |
| Working Pressure [mTorr] | 2.5×10^{-3} |
| Deposition time [min] | 5, 10, 20, 30 |
| Ar : (Ar+O ₂) Gas [Sccm] | 10 : 0.1 |
| Temperature | Room Temperature |

Table 2. Indium tin oxide annealing condition.

| Process | Condition |
|--------------------------------|--------------------|
| Substrate | Sapphire glass |
| Deposition material | Indium tin oxide |
| Heat treatment temperature[°C] | 200, 300, 400, 500 |
| Heat treatment time[min] | 30 |

2.2 Hollow silica sol coating

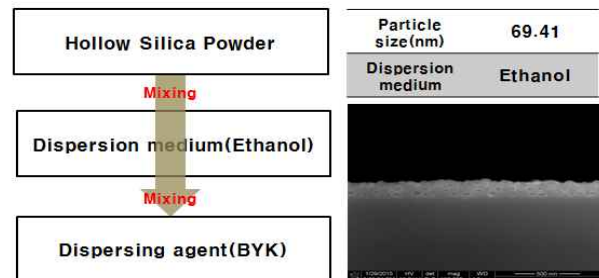


Fig. 2. Hollow silica sol a process of manufacture and SEM image.

그림 2는 hollow silica sol의 제조과정 및 SEM image이다. SILIO社의 hollow silica sol 용액을 사용하여 indium tin oxide가 증착된 glass 및 sapphire glass 기판의 투과율을 높였다. Hollow silica sol 용액은 hollow powder로 제조 되었으며 입자 크기는 60 ~ 80 nm 정도이다. 입자의 구조가 hollow powder로 제조되었기 때문에 겉 표면에 silica 막이 있고 그 안은 공기로 되어 있어 빛이 투과되면 굴절률이 낮아지는 현상이 일어나 투과효과가 좋아지는 현상을 보인다. 그리고 silica 막의 두께가 일정하고 막 안쪽의 공기 부피가 넓어질수록 굴절률이 낮아지는 경향이 보인다.

Table 3. Hollow silica sol dip coating condition.

| Process | Condition |
|-------------------------|----------------|
| Substrate | Sapphire glass |
| Dip velocity [mm/sec] | 3~9 |
| Drying temperature [°C] | 500 |
| Drying time [min] | 5 |

Table 4. Hollow silica sol macleod simulation condition.

| Process | Condition |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Indium Tin Oxide (nm) | 60 ~ 100 |
| Δ_1 (nm) | 45 ~ 120 |
| Δ_2 (nm) | 40 ~ 190 |
| Δ_3 (nm) | 45 ~ 120 |
| $\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$ (nm) | 130, 150, 160, 200, 230, 250, 280 |

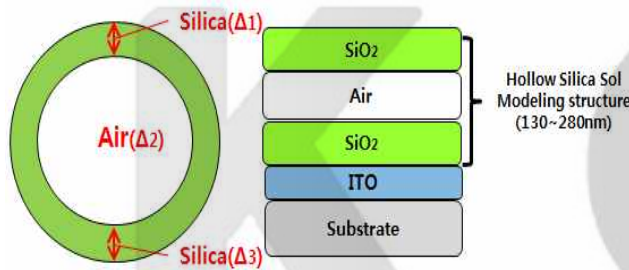


Fig. 3. Macleod simulation hollow silica sol modeling structure.

표 3은 hollow silica sol의 dip coating 조건 표이다. 코팅은 dip coating 방식으로 진행하였고, glass 및 sapphire glass 기판에 단면 coating 하였다. dip coating은 이플렉스社의 EF-4100 장비를 사용하였고, 속도를 3~9 mm/sec으로 변화를 주어 진행하였다. 그 후 건조는 소성로 장비로 500°C에서 5분 정도 진행하였다.

그림 3은 hollow silica sol의 Macleod simulation 프로그램으로 단순화 모델링한 구조이다. Hollow silica sol이 겉에는 silica 막으로 되어있고 안에는 공기로 되어있어 시뮬레이션 프로그램 상에서 indium tin oxide/SiO₂/Air/SiO₂으로 설계하였다.

표 4는 설계된 구조 각 층의 두께별 조건 표이다. Hollow Silica Sol이 코팅된 전체 두께 범위는 130~280 nm이다. 전체 범위를 기준으로 indium tin oxide 60~100 nm, Air(Δ_2) 40~190 nm, SiO₂(Δ_1, Δ_3) 45~120 nm으로 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 4와 5는 증착 두께에 따른 투과율이다. 최적조건인 투과율의 판단 조건은 평균적으로 높은 값을 나타내는 550 nm 파장대의 투과율을 비교 하였다. DC power를 변수로 두어 진행하였을 때 증착 두께는 60~75 nm로 증착되었고 60 nm에서 투과율 80%, 75 nm 82%로 75 nm에서 2% 높은 광학 특성을 보였다.

이어서, 0.3 A에서 시간을 변수로 두어 5~30분으로 진행하였을 때 증착 두께는 60~100 nm로 증착되었고 60 nm에서 투과율 80%, 100 nm에서 84%로 100 nm에서 4% 높은 광학 특성을 보였다. 기존 Sapphire glass의 투과율은 84~85%이다. 전도성 산화물(indium tin oxide)을 박막 하였을 때 투과율이 떨어졌지만, 기존 기판 투과율의 근사치를 갖는 0.3 A의 30분조건인 증착 두께 100 nm, 투과율 84%를 도출하였다 [4,5].

그림 6은 온도 변화에 따라 indium tin oxide 증착 후 열처리를 한 투과율 그래프이다. 온도는 200~500°C에서 진행하였다. 200°C에서의 투과율은 84%, 500°C에서는 86.5%로 500°C에서 광학 특성이 2.5% 높은 결과를 보였다.

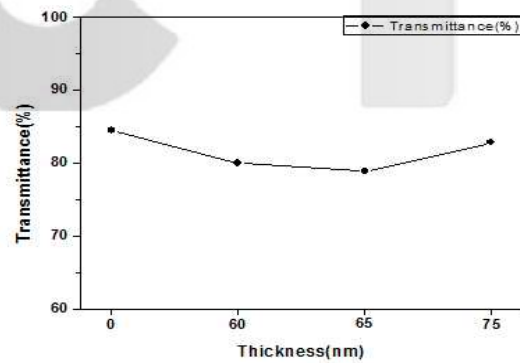


Fig. 4. Transmittance of deposition thickness. (DC power, λ=550 nm).

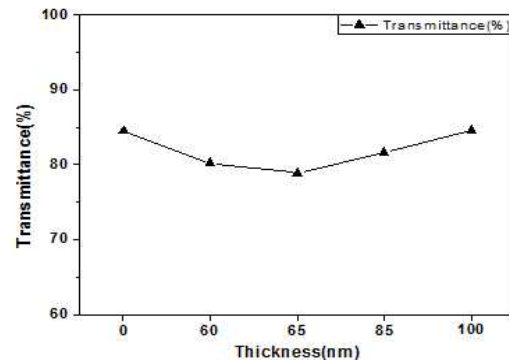


Fig. 5. Transmittance of deposition thickness. (Time, λ=550 nm).

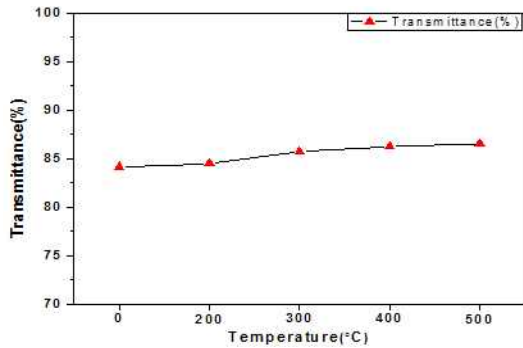


Fig. 6. After deposition indium tin oxide Transmittance of the annealing temperature. ($\lambda=550$ nm)

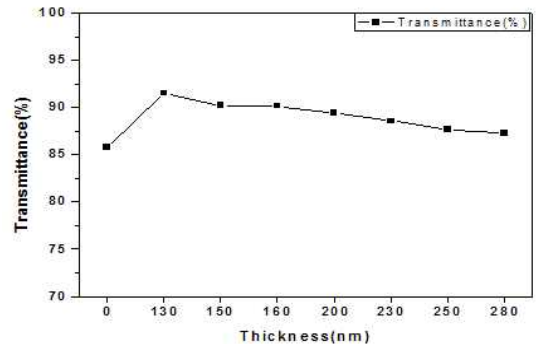


Fig. 10. Transmittance of hollow silica sol coating thickness. ($\lambda= 550$ nm).

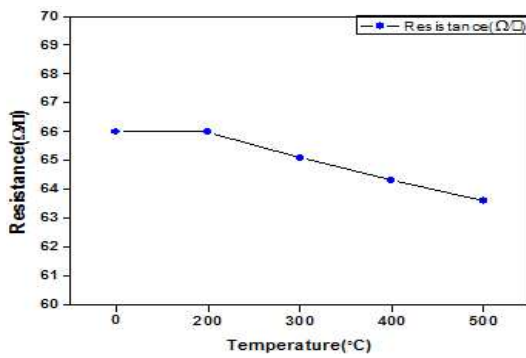


Fig. 7. After deposition indium tin oxide resistance of the annealing temperature.

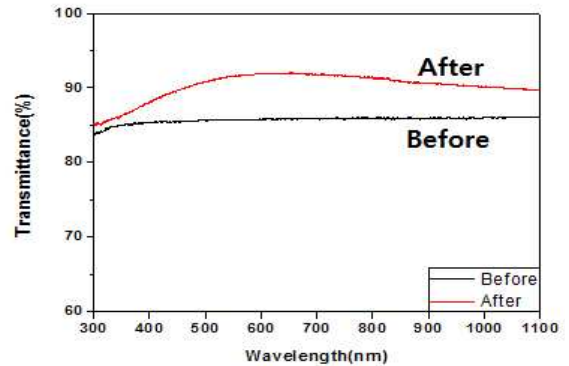


Fig. 11. Transmittance of hollow silica sol before and after coating. (Thickness=130 nm).

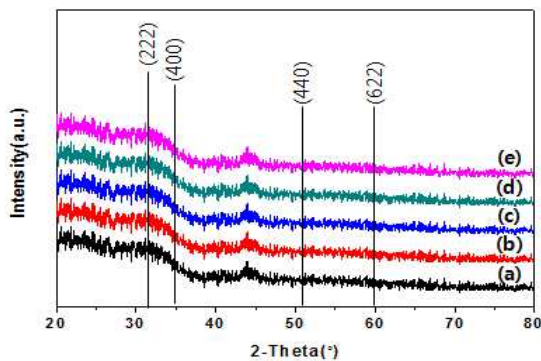


Fig. 8. After deposition indium tin oxide XRD pattern of the annealing temperature. (a) 0°C, (b) 200°C, (c) 300°C, (d) 400°C, and (e) 500°C.

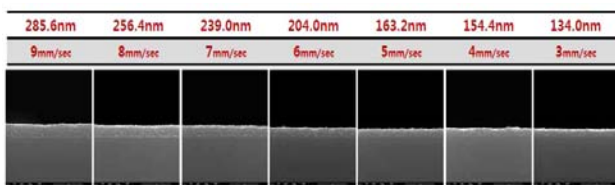


Fig. 9. Hollow silica sol SEM image of Dip coating velocity.

그림 7은 온도 변화에 따라 indium tin oxide 증착 후 500°C에서 열처리 한 샘플의 표면 저항 변화 그래프이다. 200°C에서 66 Ω/□, 500°C 63 Ω/□으로 500°C에서 4% 낮은 표면 저항을 보였다. 온도가 높아질수록 낮은 표면 저항이 측정되는 경향을 보였다 [6,7].

그림 8은 indium tin oxide 증착 후 열처리 온도 변화에 따른 X선 회절패턴 그래프이다. 모든 온도에서 비정질 영역으로 측정되어 특정 온도에서 해석 할 수 없지만 indium tin oxide의 결정립 크기가 증가하면 결정립계는 상대적으로 감소하여 가시광이 indium tin oxide 박막을 투과하면서 발생하는 흡수현상이 줄어들기 때문에 박막의 가시광 투과도가 향상된 것으로 사료된다 [8,9].

그림 9는 dip coating 속도에 따른 hollow silica sol SEM image이다. 속도가 빠를수록 두껍게 coating 되었다. 속도의 범위는 장비에 내장되어있는 3~9 mm/sec까지의 속도로 coating 하였다. 두께는 속도 9 mm/sec에서 285 nm정도였고 속도 3 mm/sec에서 134 nm 정도로 Coating 되었다.

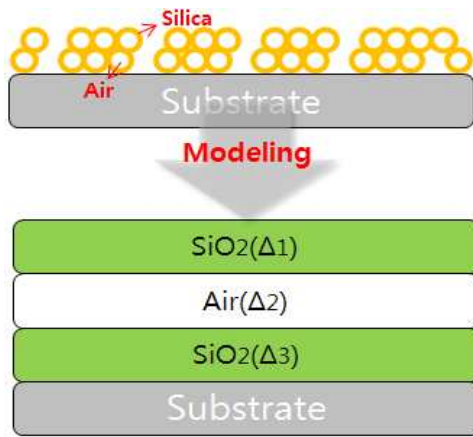


Fig. 12. Hollow silica sol macleod simulation modeling structure.

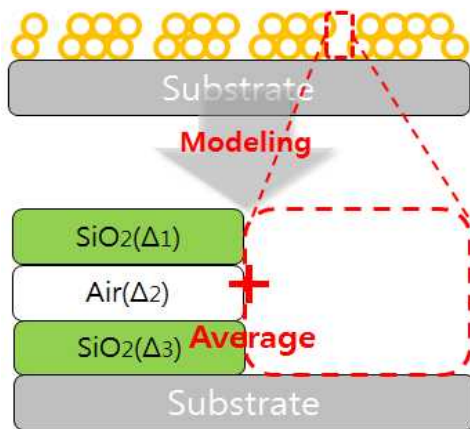


Fig. 13. Hollow silica sol macleod simulation medium modeling structure.

그림 10과 11은 기판(sapphire glass)에 hollow silica sol을 coating하여 두께에 따른 투과율을 비교한 그래프 및 130 nm 두께에서 코팅 전 후의 그래프이다. 130 nm정도 두께의 일정한 두께의 투과율이 91.5%, 280 nm 87.2%으로 측정되었다. 코팅된 두께가 두꺼울수록 광학 특성이 4.3% 감소하는 경향을 보였다. 코팅 전과 후를 비교하면 hollow silica sol 용액을 coating 하기 전 85% 보다 약 6% 증가한 91.5%으로 광학 특성이 높아진 결과를 보였다 [10-12].

그림 12와 13은 hollow silica sol을 Macleod simulation 프로그램으로 시뮬레이션 하기위해 모델링한 구조이다. Hollow Silica 구조를 응용하여 SiO₂/Air/SiO₂으로 단순화하게 모델링 하였다.

Table 5. Air(Δ_2) 40 nm fixed Macleod simulation condition.

| Process | Condition |
|---|-----------------------------------|
| $\Delta_1(\text{nm})$ | 45 ~ 120 |
| $\Delta_3(\text{nm})$ | 45 ~ 120 |
| $\Delta_1+\Delta_2+\Delta_3(\text{nm})$ | 130, 150, 160, 200, 230, 250, 280 |

Table 6. SiO₂(Δ_1, Δ_3) 45 nm fixed Macleod simulation condition.

| Process | Condition |
|---|-----------------------------------|
| $\Delta_1(\text{nm})$ | 45 |
| $\Delta_2(\text{nm})$ | 40 ~ 190 |
| $\Delta_3(\text{nm})$ | 45 |
| $\Delta_1+\Delta_2+\Delta_3(\text{nm})$ | 130, 150, 160, 200, 230, 250, 280 |

Table 7. Air(Δ_2) 5, 10, 20nm fixed Macleod simulation condition.

| Process | Condition |
|---|-----------------------------------|
| $\Delta_1(\text{nm})$ | 55 ~ 137.5 |
| $\Delta_2(\text{nm})$ | 5, 10, 20 |
| $\Delta_3(\text{nm})$ | 55 ~ 137.5 |
| $\Delta_1+\Delta_2+\Delta_3(\text{nm})$ | 130, 150, 160, 200, 230, 250, 280 |

Table 8. SiO₂(Δ_1)/Air(Δ_2)/SiO₂(Δ_3) 130~150 nm fixed Macleod simulation condition.

| Process | Condition |
|-----------------------|------------|
| Indium tin oxide(nm) | 60 ~ 100 |
| $\Delta_1(\text{nm})$ | 45, 50, 55 |
| $\Delta_2(\text{nm})$ | 40 |
| $\Delta_3(\text{nm})$ | 45, 50, 55 |

표 5, 6, 7, 8은 모델링 구조에 따른 시뮬레이션 조건이다. Air를 고정한 후 SiO₂를 변수로 둔 것과 SiO₂를 고정한 후 air를 변수로 둔 조건을 시뮬레이션 하였다. 이에 도출된 silica층의 최적조건으로 고정한 후 아래층의 indium tin oxide 두께를 변수로 두어 광학 특성 시뮬레이션을 확인하였다.

그림 14는 hollow silica sol을 코팅한 SEM image이다. image를 보면 hollow silica particle이 어느 일정 부분 분포하지 않는 곳이 보인다. Macleod simulation에서 silica 층이 있는 부분과 없는 부분을 시뮬레이션 하여 평균값으로 계산하는 이유를 그림 14로부터 확인 할 수 있다.

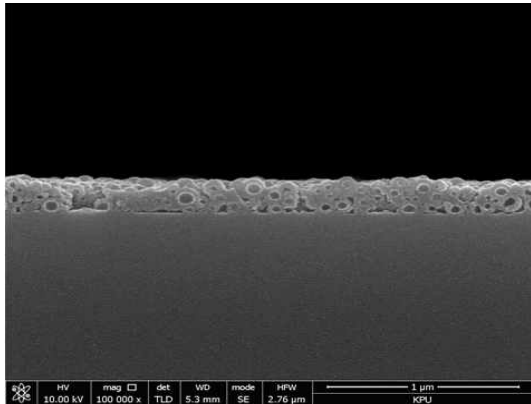


Fig. 14. SEM image section of after hollow silica sol coating.

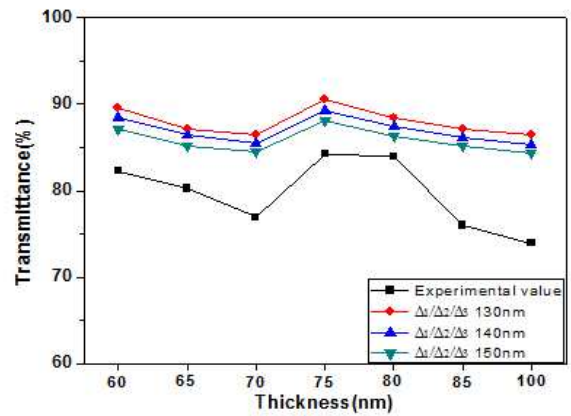


Fig. 17. Transmittance of Macleod simulation condition. ($\lambda=550$ nm, indium tin oxide).

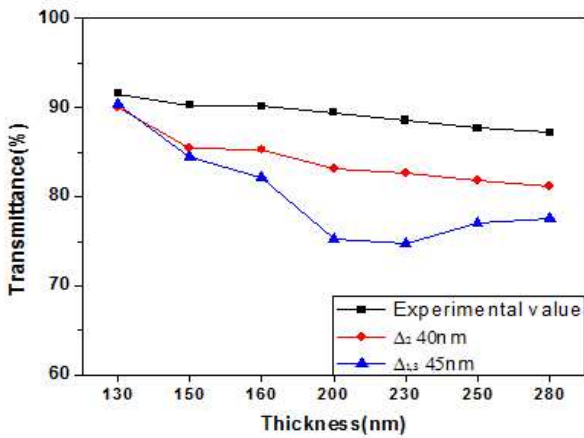


Fig. 15. Transmittance of Macleod simulation condition. ($\lambda=550$ nm, silica sol).

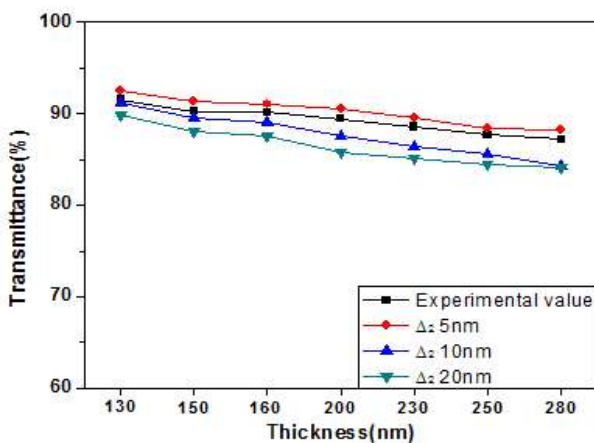


Fig. 16. Medium transmittance of hollow silica the presence or absence Macleod simulation condition. ($\lambda=550$ nm).

그림 15는 실제 hollow silica sol의 두께에 따라 코팅된 투과율과 시뮬레이션 투과율을 비교한 그래프이다. 각 두께에 따라 투과율 파장 550 nm 기준으로 비교하였다. 시뮬레이션과 실제 투과율이 130 nm 두께에서 각각 91.5%, 90.1%, 90.5%로 가장 높은 투과율을 보였고, 두께가 두꺼워질수록 투과율이 낮아지는 경향을 보였다. 전체적으로 시뮬레이션 값과 실제 값이 유사한 경향을 보였다.

그림 16은 hollow silica sol의 모델링 한 air 영역의 두께를 5, 10, 20 nm으로 설정하고 silica 부분이 있는 영역과 없는 영역을 시뮬레이션 하여 투과율의 평균값을 계산 하였을 때 실제 값과 비교한 그래프이다. 그림 15와 같이 각 두께에 따라 투과율 파장 550 nm 기준으로 비교하였다. air 영역이 20 nm에서 5 nm로 감소할 때 평균적으로 투과율이 증가하는 것을 확인하였다. 실제 실험값과 비교하였을 때 5 nm와 10 nm의 사이의 값으로 측정 되었다. Air 영역이 감소할수록 투과율이 증가하는 이유는 시뮬레이션 상의 SiO₂ 굴절률이 실제 silica 막의 굴절률 보다 높아 증가하는 것으로 사료된다.[13,14]

그림 17은 도출된 silica층의 최적조건으로 indium tin oxide를 변수로 두어 시뮬레이션 한 투과율 그래프이다. 시뮬레이션 모델링 SiO₂/Air/SiO₂의 130 nm에서 150 nm 두께로 두꺼워질수록 실제 실험값과 유사해지며, indium tin oxide 두께가 두꺼워 짐에 따라 투과율 경향도 실제 실험값과 유사하였다. 실제 측정값과 차이가 있는 이유는 indium tin oxide의 특징적인 특성과 시뮬레이션 상의 미세한 굴절률 차이와 관련 있는 것으로 사료된다.

4. 결 론

Sapphire glass를 기반으로 한 전도성 산화물 indium tin oxide 전극 및 광학 코팅을 통하여 우수한 광학특성과 높은 강도를 갖는 일체형 터치 패널의 광학특성 평가를 목표로 두고 연구를 진행하였다. 전도성 산화물 코팅에서 sapphire glass에 indium tin oxide를 DC 스퍼터링법으로 증착을 하였다. 우수한 광학 특성을 보이는 조건으로 0.3 A/30분, 열처리 500°C, 투과율 86.5%, 표면저항 63 Ω/\square 을 확인하였다. SILIO社의 hollow silica sol 용액을 사용하여 sapphire glass에 코팅하였다. 코팅 전의 투과율이 85%에서 hollow silica sol 용액을 코팅 한 후 91.5%까지 약 6%가 증가하는 것을 확인하였다. Macleod simulation으로 hollow silica sol을 모델링 하여 측정하였을 때 실제와 유사하게 하기 위해 silica 부분이 있는 영역과 없는 영역으로 나누어 측정하고 평균값을 계산하였다. 시뮬레이션 상의 굴절률 값과 실제 재료의 굴절률 값이 차이가 있어 투과율이 완전히 일치하지는 않지만 실제 값(투과율)과 유사한 air 영역이 5 nm에서 10 nm으로 설정되었을 때 그 사이의 값으로 측정되는 것을 확인 할 수 있었다.

REFERENCES

- [1] H. K. Pulker, *Coatings on glass* (Elsevier, Newyork, 1984).
- [2] J. D. Rancourt, *Optical Thin Films* (MacMillan Publishing Company, Newyork, 1987). p.621
- [3] H. Anders, *The Focal Press*, 180 (1967).
- [4] H. Hanaoka, O. Ito, K. Kaneko, and H. Kondo, *SID Symposium Digest of Technical Papers*, **29**, 258 (1998). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1889/1.1833741>]
- [5] B. E. Yoldas, *Appl. Opt.*, **19**, 1425 (1980). [DOI:<http://dx.doi.org/10.1364/AO.19.001425>]
- [6] B. Ren, X. Liu, M. Wang, and Y. Xu, *Rare Metals*, **25**, 137 (2006). [DOI:[http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0521\(07\)60060-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0521(07)60060-6)]
- [7] M. Higuchi, S. Uekusa, R. nakano, and K. Yokogawa, *J. Appl. Phys.* **74**, 6710 (1993). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.355093>]
- [8] D. I. Kim, *Renewable Energy*, **36**, 525 (2011). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.06.031>]
- [9] Y. S. Kim, S. B. Heo, H. M. Lee, Y. J. Lee, I. S. Kim, M. S. Kang, D. H. Choi, B. H. Lee, M. G. Kim and D. I. Kim, *Appl. Surf. Sci.*, **258**, 3903 (2012). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.12.057>]
- [10] Caruso, F. Caruso. R. A. Mohwald, *H. Science*, **282**, 1111 (1998).
- [11] X. Xu, S. A. Asher, *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 7940 (2004). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ja049453k>]
- [12] Y. Wang, L. Cai, Y. Xia, *Adv. Mater.*, **17**, 473 (2005). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/adma.200401416>]
- [13] R. Swanepoel, *J. Phys. E. Sci. Instrum.*, **16**, 1214 (1983). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0022-3735/16/12/023>]
- [14] M. Tilsch, K. Hendrix, and P. Verly, *Appl. Opt.*, **45**, 1544 (2006). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/AO.45.001544>]