

인라인 스퍼터링에 의한 저항막 방식 터치패널용 ITO 기판 제조공정 최적화 기술

안민형 · 조의식 · 권상직*

경원대학교 전기전자공학과, 성남 461-701

(2009년 10월 1일 받음, 2009년 11월 13일 수정, 2009년 11월 17일 확정)

본 연구에서는 인라인 스퍼터링 공정을 이용하여 저항막 방식 터치패널에 적용이 가능한 인듐 주석 산화물(indium tin oxide : ITO)기판 제조 공정을 최적화하였다. 플라스틱 기판으로 고분자 기판인 폴리카보네이트(polycarbonate : PC) 기판을 사용하였으며 면저항 $500 \pm 50 \Omega/\square$, 면저항 균일도 10 % 이내, 투과율 87 % (at550nm) 이상, 두께 120~250Å의 조건을 만족하는 ITO 기판의 공정 최적화를 위한 실험을 진행하였다. 스퍼터링 공정은 초기 진공도 1×10^{-6} torr 일 때 상온에서 DC 전압을 인가하여 진행되었으며 산소/알곤 가스의 비율, 인가 전압, 공정 압력, 기판의 이송 속도를 변수로 하여 요구되는 ITO 박막의 특성에 가장 최적화된 공정 조건을 형성하였다. 인라인 방식의 스퍼터 장비에서 최적화된 공정 조건은 실제 생산 라인에 적용이 가능할 것으로 판단되며 향후 지속적인 연구를 통해 현재 수입에 의존하고 있는 ITO 기판 제조기술의 국산화에 기여할 수 있을 것이다.

주제어 : 인듐주석 산화물, 폴리카보네이트, 인라인스퍼터, 산소 / 알곤 유량비, 공정압력

I. 서 론

평판 디스플레이의 소재로 주로 유리 기판 상에 증착되어 온 투명 전도막은 최근에 touch panel 등의 차세대 디스플레이, 투명 전극 부품, 전자파 차폐막 재료 등으로 응용 범위를 넓히면서 접을 수 있는 PC (polycarbonate), PES (polyethersulphone), PET (polyethylene), PMMA (polymethly methacrylate) 등의 고분자 기판 위에 증착, 제작되는 경향을 보이고 있다. 이러한 고분자 기판들은 유리 기판에 비해서 두께가 얇고 (<200 μm), 가볍고 가격이 저렴하며 높은 광투과율의 특성을 가지고 있다. 하지만 고분자 기판은 유리 기판과 비교하여 상대적으로 수분과 열에 약하여 ITO(Indium tin oxides; Sn이 도핑된 인듐산화물) 등의 투명 전도막에 의한 전극 형성을 위한 공정시 기판의 변형을 가져올 수 있다 [1-4]. 현재 사용되고 있는 투명 전도막 박막은 대부분 스퍼터링(sputtering) 방식에 의하여 증착되고 있는데, 대부분의 경우 200℃~300℃의 높은 온도를 요구하고, 저온에서의 증착 후에도 별도의 열처리 공정을 필요로 하기 때문에 유연성이 우수한 고분자 기판 및 필름 위의 박막 형성이 어렵고 이는 아직까지 고분자

기판의 상용화에 가장 큰 걸림돌이 되고 있다. 반면에 저온에서 스퍼터링 공정을 진행하는 경우 일반적으로 비정질 및 부분적인 다결정 상태의 혼합 구조의 박막이 얻어지면 전기 및 광학적 성질이 좋지 않은 경향을 보인다. 결국 이러한 문제점들을 해결하고 저온에서도 상대적으로 우수한 결정 특성을 보이는 박막을 얻기 위해서 사용되고 있는 증착방법으로는 마그네트론 스퍼터링 방법이 있는데, 기존의 다른 스퍼터링 방법과 비교시 매우 얇은 박막 증착이 가능하며, 균일성이 우수한 특성을 보인다 [5-7].

본 논문에서는 DC 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 고분자 기판인 PC(polycarbonate)기판에 ITO 박막을 증착하였으며, 스퍼터링시 실제 양산 라인에 사용되고 있는 인라인 방식의 스퍼터 장비를 사용하였다.

II. 실험방법

ITO 박막의 증착에 Fig. 1과 같이 구성된 인라인 스퍼터(in-line sputter) 장비를 사용하였다. 기판은 370×470mm² 사이즈의 유리 기판을 지그(jig) 에 장착하여 이송

* [전자우편] sjkwon@kyungwon.ac.kr

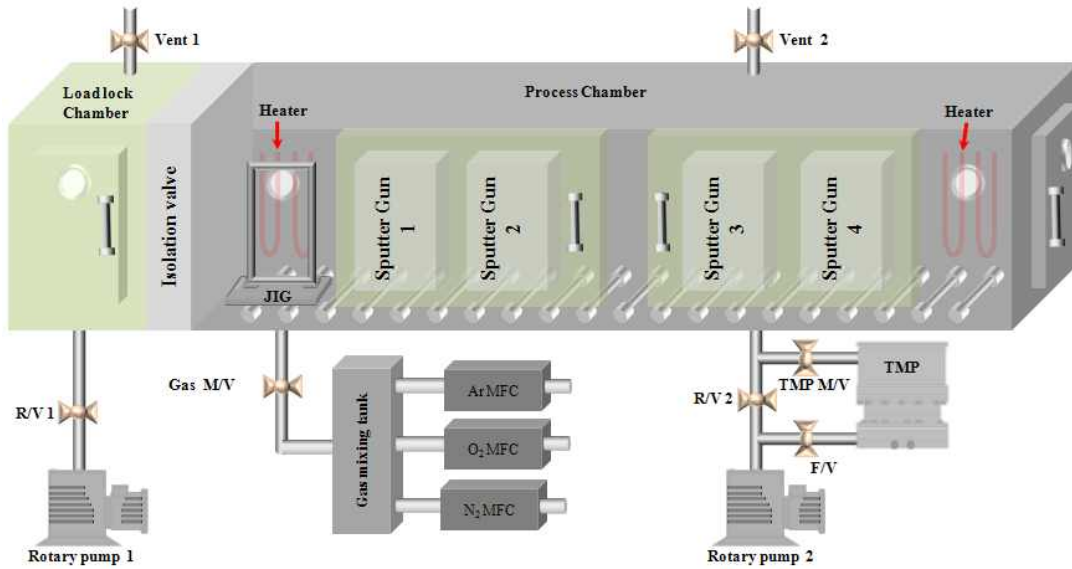


Figure 1. Schematic of in-line sputter system.

시키며, 스퍼터링시 이송속도는 30~150 cm/min 사이에서, 챔버 내의 분위기 온도는 상온에서부터 최고 300℃까지 각각 조절 가능하다. 챔버는 load lock 챔버와 process 챔버로 구분되며 load lock 챔버에서는 1×10^{-3} , process 챔버에서는 8×10^{-7} torr 의 높은 진공도 값을 얻을 수 있다.

실험에 사용한 PC 기판은 지그에 장착된 370×470 mm² 글라스 위에 붙여 사용하였으며, process 챔버 내 초기 진공도를 1×10^{-6} torr 이하로 하였다. 박막 증착 전 ITO 타겟(target) 표면의 각종 이물질 제거하고 방전의 안정화를 위해 pre-sputtering 을 실시하였다. 이후 플라즈마 생성가스인 Ar 가스와 반응성 가스인 O₂ 가스를 주입하여 Mass flow controller(MFC)에 의한 미세 조정으로 유량비와 공정 압력을 설정하고 플라즈마를 발생시킨 뒤 지그를 이송시켰다. 이 때 증착 온도는 상온 상태를 유지하였고, 공정이 진행되는 동안 인위적인 기판의 가열은 하지 않았다. 실험에 사용된 타겟은 In₂O₃/SnO₂(90/10 wt%)의 조성 성분을 가지고 있는 면적 540×165 mm²의 고밀도 소결체 ITO 타겟이다.

PC 기판상에 상온 증착된 ITO 박막의 특성으로 면저항 500±50 Ω/□, 면저항 uniformity 10% 이하, 투과율 87% 이상(at 500 nm)의 값을 얻기 위하여 다양한 변수를 적용하여 실험을 수행하였다. 박막 특성의 변화에 영향을 주는 변수는 온도, 공정 압력, O₂/Ar 가스의 비율, 인가되는 파워 등이 있으며 본 실험에서는 공정 변수 중 공정 압력과

O₂/Ar 가스의 비율 변화에 따라 ITO 박막의 두께, 투과율, 면저항이 어떻게 변하는지 알아보고자 하였다.

증착된 ITO 박막의 두께는 Tencor 사의 α-step 500 표면 분석기로 측정하였고, AIT사의 4-point probe 를 이용하여 면저항 값을 측정하였으며 VIRIAN사의 UV-visible spectrometer를 사용하여 200~800 nm 영역의 파장에서 광투과도를 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 ITO 박막을 형성할 때 플라즈마 발생시 Ar 가스와 O₂ 가스가 분해되어 형성된 음이온 중 일부가 전기장에 의하여 기판에 충돌, 증착 중인 박막에 손상을 가할 수 있다. 이는 박막의 비저항 증가와 충돌시 식각되는 특성 등의 문제를 발생시킨다. 따라서 본 실험에서는 음이온에 의한 기판 손상 현상을 줄이고자 공정시 Ar 과 O₂의 유량비와 공정 압력의 변화를 주어 각각의 변화를 보았다.

DC 마그네트론 스퍼터링시 ITO 타겟을 형성하는 원소들만으로는 증착된 ITO 박막 내의 결합된 산소 원자가 부족할 가능성이 있다. 이러한 산소 원자 부족 현상은 저급 산화물인 InO, SnO 또는 금속성 In, Sn 이 구성하는 ITO 박막 내 전자 밀도와 이동도의 감소로 인한 비저항 증가의

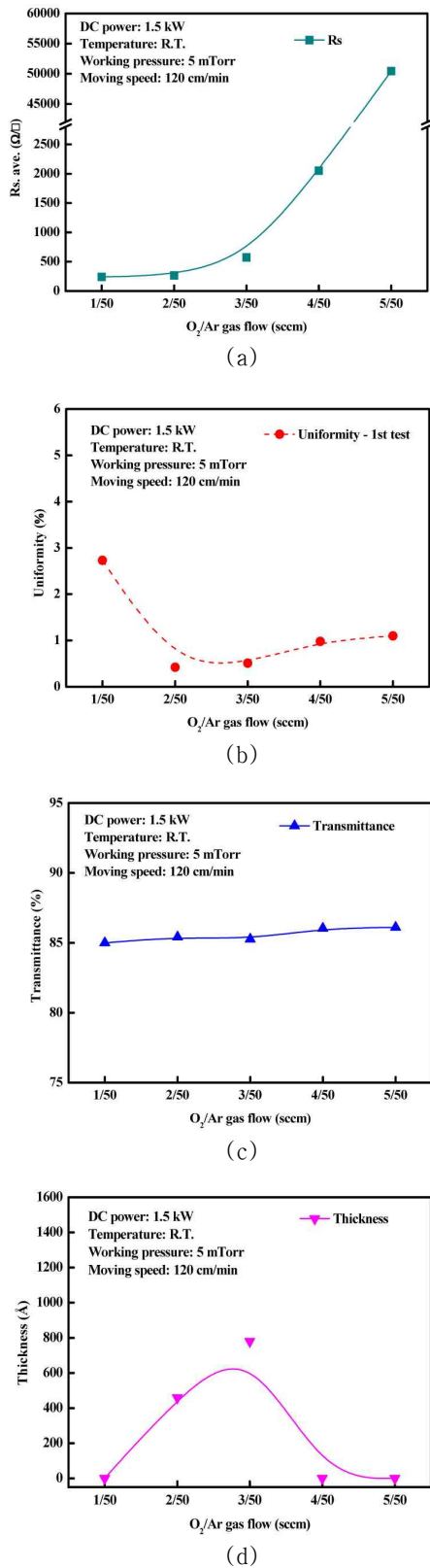
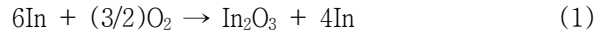


Figure 2. ITO sputtered with various O₂ flow (a) sheet resistance, (b) sheet resistance uniformity, (c) transmittance, (d) thickness.

원인이 될 것이다. 식 (1)은 ITO 박막 형성시 산소가 충분하지 않을 경우의 반응식을 보여 주고 있다.



O₂ 원자량의 변화가 비저항 값에 미치는 영향을 확인하기 위하여 Ar 가스를 50 sccm 으로 고정시키고, O₂ 유량을 변화시켜 실험을 하였다. Fig. 2의 (a)에서와 같이 공정시 유입되는 O₂ 유량의 변화에 따른 면저항의 변화를 보면, O₂ 유량이 1 sccm 일 때 ITO 박막의 면저항이 240 Ω/□ 였지만 유량이 증가함에 따라 면저항이 점점 증가함을 볼 수 있다. 이 결과는 O₂ 가스가 3 sccm 이상으로 유입될 경우, 필요 이상의 O₂ 가스의 유입이 오히려 ITO 박막 내에서 전기적 결함으로 작용함으로써 비저항이 급격하게 증가함을 보여주고 있다. Fig. 2의 (b)는 증착된 ITO 박막의 면저항 균일도를 나타낸 그래프이며 균일도는 0.4~3 % 로 PC 기판상에 전체적으로 균일하게 ITO 막이 증착되고 있음을 알 수 있다. Fig. 2의 (c)는 증착된 ITO 박막의 광투과도 그래프이다. 측정 결과 평균 85%이상의 광투과율을 보였으며 5 sccm 에서 가장 뛰어난 86.11 %의 투과율을 나타내었다. O₂ 의 유입량이 많아지면 저항값 상승의 원인이 되지만 반면에 투과율을 향상시키는 것을 알 수 있다. Fig. 2의 (d)는 O₂ 량에 따른 증착된 ITO 박막의 두께의 변화를 보여주고 있다. 3 sccm 의 O₂가 인입되었을 경우 가장 높은 두께를 보이지만, 3 sccm 이상이나 이하에서는 두께가 얇아짐을 볼 수 있다. Ar 에 대한 O₂ 비가 2/50, 3/50 이외의 조건에서 증착된 박막의 두께는 100 Å 미만으로 판단되며 보류 장비의 측정 범위 영역상 0으로 표시하였다. 실험시 공정 압력, 인가 전압을 각각 5 mTorr 와 1.5 kW 로 고정하였고 O₂ 와 Ar 가스의 유량비가 3/50 일 경우 574 Ω/□로 목표로 정한 면저항값에 가장 근접함을 확인하였으나 500±50 Ω/□의 조건을 만족하지 못하였다. 또한 면저항, 두께 등 다른 특성과 비교시 O₂ 가스의 량에 따른 투과율의 변화는 작은 편이었다. 이는 투과율이 증착 과정에서 In과 Sn에 결합하는 O₂에 의해 영향을 받기 때문에 유입시킨 O₂의 양이 박막 내에서 포화, 투과율 변화가 작은 것으로 판단된다.

Fig. 3은 유입되는 총 유량의 변화로 인한 ITO 박막 특성 변화를 살펴보기 위하여 O₂ 가스를 고정시키고 Ar 유량을 변화시켜서 ITO 박막을 증착한 실험 결과이다. O₂ 량은

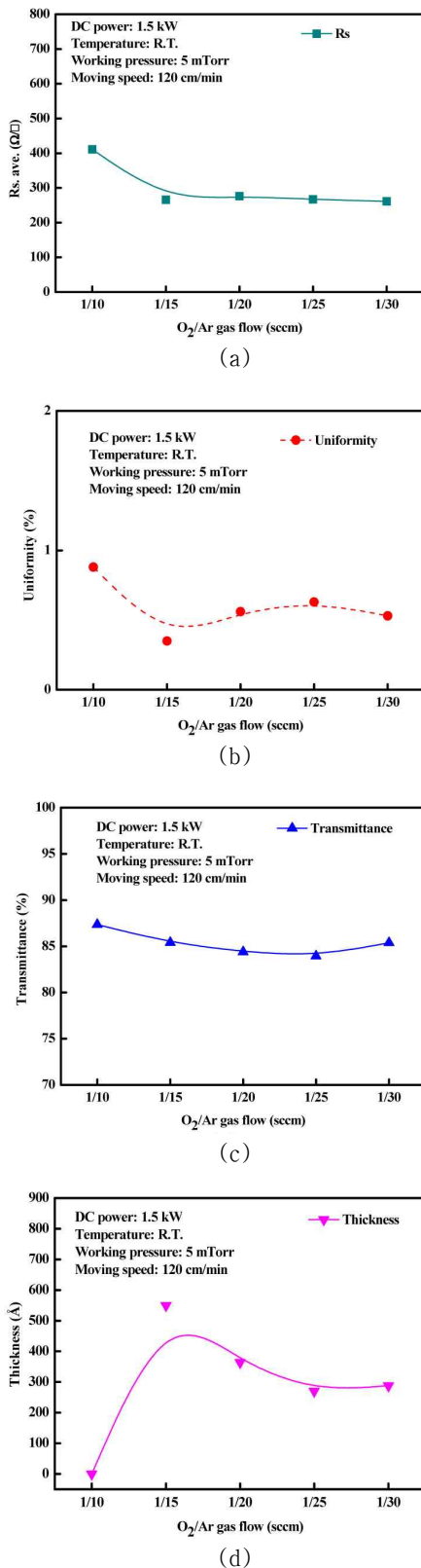
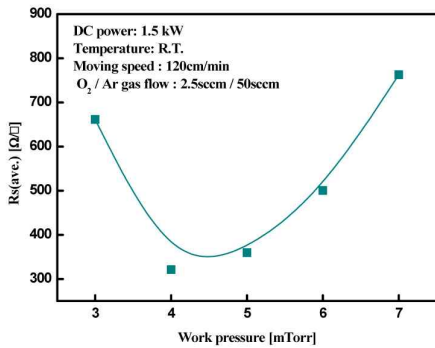


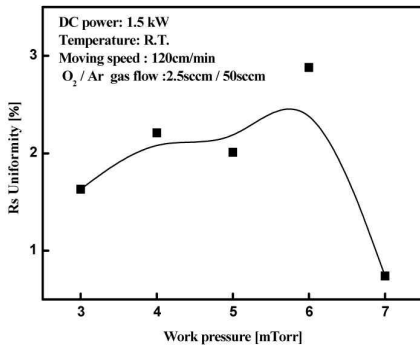
Figure 3. ITO sputtered with various Ar flow (a) sheet resistance, (b) sheet resistance uniformity, (c) transmittance, (d) thickness.

1 sccm 으로 고정하였고, Ar 유량을 10~30 sccm 범위에서 변화시켰다. 실험시 공정 압력, 인가 전압은 앞의 실험과 동일하게 각각 5 mTorr 와 1.5 kW 로 고정하였다. Fig. 3의 (a)와 같이 15~30 sccm 범위에서의 Ar 가스 변화에 대하여 ITO 박막의 면저항값에 큰 차이가 없었으나 Ar 유량 15 sccm 이하에서는 면저항값이 증가함을 확인할 수 있다. 이는 O₂ 량 변화 실험과 비교하여 Ar 유량의 변화는 ITO 박막의 전기적 특성에 큰 영향을 받지 않는 않지만, O₂/Ar 유량비가 10% 를 넘을 경우 면저항이 급격하게 높아지는 것을 확인할 수 있는 결과이다. Fig. 3(b)의 증착된 박막의 균일도는 전체적으로 1% 이하로 전체적으로 균일하게 증착됨을 알 수 있으며, Fig. 3(c) 의 투과율도 83% 이상의 광투과율을 보였다. Fig. 3(d)의 Ar 유량 크지는 않지만 ITO 박막의 두께 특성으로부터 15 sccm 에서 가장 두께가 큰 값을 보이는 것을 확인할 수 있으며, 20~30 sccm 범위에서 Ar 유량 3(b)의 증착된 ITO 박막의 두께가 작아지지만, 그와는 대조적으로 10 sccm 에서는 100 Å 미만의 두께로 증착됨을 확인할 수 있다. 이는 O₂ 유량을 고정하고 Ar 유량의 조절을 통해 유입되는 가스의 유량비를 동일하게 조정하였더라도 유입되는 가스의 총량에 따라 공정 압력과 인가 전압이 달라져야 한다는 것을 증명하고 있다. Fig. 3(a)의 특성으로부터 15 sccm 이상의 Ar 가스를 유입시켰을 경우 저항값의 변화가 거의 없는 것으로 보아 Ar 가스 10 sccm 을 유입시킨 1/10(유량비 10%)이하의 조건에서는 유입되는 총 유량이 공정 압력, 인가 전압 등의 공정 조건과 챔버 사이즈, 타겟 사이즈 등의 공정 환경에 적합하지 않지만 유입되는 O₂ 가스에 의해 두께의 변화가 있음에도 면저항의 변화가 없는 것으로 판단되며, 1/15 이상(유량비 약 6.7%) 부터는 유입되는 O₂ 유량이 포화되어 면저항이 급격하게 상승함을 확인하였다.

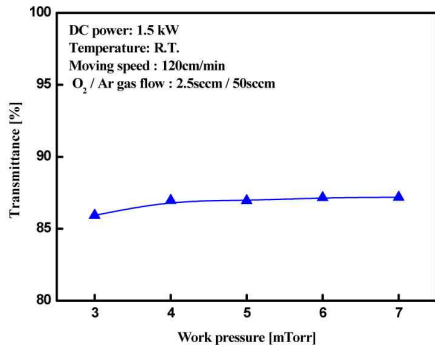
Fig. 2의 O₂ 유량 변화에 따른 박막 특성과 Fig. 3의 Ar 유량 변화에 따른 박막 특성을 분석한 후, 압력의 변화가 박막 특성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 O₂/Ar 가스의 유량비를 2.5 sccm/50 sccm 으로 고정하고 다양한 압력 조건에 대하여 실험을 진행하였다. Fig. 4 에서와 같이 공정시 압력의 변화에 따른 면저항의 변화를 보면, 압력이 3 mTorr 일 때 ITO 박막의 면저항 값이 661 Ω/□ 였지만 4 mTorr 일 때 급격히 낮아 졌다가 압력이 높아짐에 따라 다시 일정하게 증가하는 모습을 보여주고 있다. 이 결과는 3 mTorr 의 압력에서는 유입되는 O₂ / Ar 가스의 비율이



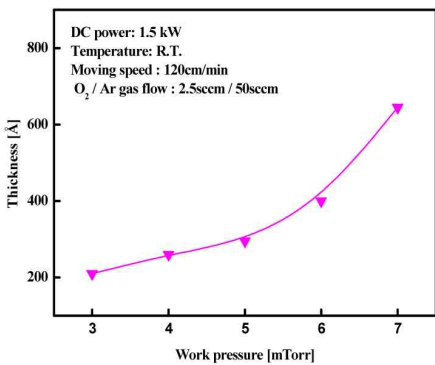
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 4. ITO sputtered with various work pressure (a) sheet resistance, (b) sheet resistance uniformity, (c) transmittance, (d) thickness.

고정되어 있더라도 낮은 압력 조건에 의하여 형성된 박막 내 산소 부족 현상이 발생, 큰 면저항 값을 가지게 됨을 보여주고 있으며, 5 mTorr 이상의 압력에서는 필요 이상의 산소의 유입으로 인한 포화 현상으로 ITO 박막 내에서 전기적 결함이 발생, 면저항이 증가함을 보여주고 있다. Fig. 4(b)의 면저항의 균일도는 3% 이하로 전체적으로 균일하게 ITO 막이 증착됨을 알 수 있다. 또한 Fig. 4(c)와 같이 ITO 박막의 투과도는 압력 변화에 거의 영향을 받지 않고 85% 이상을 유지함을 확인하였다. Fig. 4(d)는 공정 압력의 변화에 따라 증착된 ITO 박막 두께 특성을 보여주고 있다. 압력이 높아짐에 따라 증착된 두께 및 증착율이 증가함을 보여주고 있으며 이는 스퍼터링 시 유입되는 유량에 따라 공정 압력을 다르게 적용해야 하며 공정 압력이 증착물의 향상에 밀접하게 관련 있음을 알 수 있다. 결국, O₂/Ar 유량비 2.5/50과 공정압력 6mTorr에서 목표인 면저항 500±50 Ω/□, 면저항 uniformity 5%이하, 투과율 87% 이상(at500 nm)의 특성을 보이는 ITO 박막을 증착할 수 있었다. 이 경우 두께는 400 Å 으로 목표보다 두꺼웠으나 이는 터치패널에 적용시 큰 비중을 차지하는 부분이 아니며 박막 증착시 온도변화를 통해 원하는 값을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 또한 면저항과 두께의 변화가 있음에도 투과율의 변화가 미미한 것은 투과율을 결정하는 요인인 O₂ /Ar유량비율이 공정 조건에 따라 각각 다르게 적용되어야 함을 알 수 있었다.

IV. 결 론

2세대 급의 인라인 스퍼터 장비를 이용하여 다양한 공정 조건에서 PC 기판 상에 ITO 박막을 증착하였다. 증착된 ITO 박막의 면저항과 두께는 O₂ 가스와 Ar 가스의 혼합비와 공정 압력에 따라 변화하는 것을 확인할 수 있었다. O₂/Ar 유량비 2.5/50과 공정압력 6mTorr에서 목표인 면저항, 면저항 uniformity, 투과율 값을 만족시키는 ITO 박막을 증착할 수 있었다. 본 결과를 이용, 보다 고품위의 ITO film의 제조가 양산에 적용이 가능한 인라인 장비 상에서 가능할 것으로 판단되며 터치 패널 등 여러 용도로의 활용을 통하여 ITO film 제조기술의 개선에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 2009년 경기도 중소기업 산학협력실 지원사업 연구비에 의하여 수행되었음. 또한 2009년도 경원대학교 지원에 의한 결과임.

참고문헌

- [1] A. Kulkarni, T. Lim, M. Khan, and K. Schilz, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A16**, 1636 (1998).
- [2] T. Karasawa and Y. Miyata, *Thin Solid Films*, **223**, 135 (1997).
- [3] P. Lippens, et al, *Thin Solid Films*, **317**, 405 (1998).
- [4] 조범진, 김경환, 전기전자재료학회논문지, 20권, **2호**, 162 (2007).
- [5] W. Wu and B. Chiou, *Thin Solid Films*, **298**, 221 (1997).
- [6] T. Minami, H. Sonohahra, T. Kakumu, and S. Takata, *Thin Solid Films*, **270**, 37 (1995).
- [7] N. Danson, I. Safi, G. Hall, and R. Howson, *Surf. Coatings Technol.*, **99**, 214 (1998).

Process Optimization of ITO Film on PC Substrate Deposited by In-line Sputtering Method for a Resistive-type Touch Panel

M. H. Ahn, E. S. Cho, and S. J. Kwon*

Department of Electronics Engineering, Kyungwon University, Sunnam 461-701

(Received October 1, 2009, Revised November 13, 2009, Accepted November 17, 2009)

Indium tin oxide(ITO) substrate is one of the key components of the touch panel and its sputtering process is dependent on the characteristics of various touch panel, such as driving type, size of panel, and the intended use. In this study, we optimized the sputtering condition of ITO film on polycarbonate(PC) by using in-line sputtering method for the application to resistive type touch panel. We varied the O₂/Ar gas ratio, sputtering power, pressure and moving speed of substrate to deposit ITO films at room temperature with the base vacuum of 1×10^{-6} torr. The sheet resistance and its uniformity, the transmittance, the thickness of the ITO film on PC substrate are investigated and analyzed. The optimized process parameters are as follows : the sheet resistance is $500 \pm 50 \Omega/\square$, the uniformity of sheet resistance is lower than 10%, the transmittance is higher than 87 % at 550nm, and the thickness is about 120 ~ 250. The optimized deposition conditions by in-line sputtering method can be applied to the actual mass production for the ITO film manufacturing technology.

Keywords : Indium tin oxide, Polycarbonate, In-line sputter, Oxygen/argon ratio, Pressure

* [E-mail] sjkwon@kyungwon.ac.kr