Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 23, No. 1, p. 24, January 2010.

논 문 23-1-6

ITO 투과율 향상을 위한 Buffer층 설계에 관한 연구

A Study on Buffer Layer Design for Transmittance Improvement of Indium Tin Oxide

기현철[1], 이정빈[2], 김상기[3], 홍경진[4,a]
(Hyun-Chul Ki[1], Jeong-Bin Lee[2], Sang-Ki Kim[3], and Kyung-Jin Hong[4,a])

Abstract

We have proposed an Buffer layer to improve the transmittance of ITO. Here, SiO_2 and TiO_2 were selected as the Buffer layer coating material. The structures of Buffer layer were designed in ITO/SiO_2/TiO_2/Glass and ITO/Glass/TiO_2/SiO_2. Then, these materials were deposited by ion-assisted deposition system. Transmittances of deposited ITO were 86.14 and 85.07%, respectively. These results show that the proposed structure has higher transmittance than the conventional ITO device.

Key Words : ITOI(Indium tin oxide), Buffer layer, Transmittance, IAD(Ion-assisted deposition)

1. 서 론

현재 정보화가 급격히 발달함에 따라 전자기기의 정보표시 장치로써 평면 디스플레이의 필요성 및 중요성이 부각되고 있다. 이러한 평면 디스플레이에는 액정 디스플레이(Liquid Crystal Display, LCD), 유기발광소자(Organic Light Emitting Device, OLED), 플라즈마 디스플레이(Plasma Display Panel, PDP), 전계방출 디스플레이(Field Emission Display, FED), 전기발광 디스플레이 등이 있다.

ITO(Indium-Tin Oxide)은 투명전극으로 전기전도도와 광학적으로 투명하기 때문에 많은분야에서 사용된다. 특히 ITO는 전기적 조절과 광검출 신호를 동시에 할 수 있기 때문에 주로 발광다이오드(Light-Emitting Diode, LED)와 유기발광소자에 같은 광전자 소자에 많이 사용된다[1-3].

1. 한국광기술원 광소자팀
2 한국폴리텍V대학 전기계측제어과.
3. (주)링크라인아이엔씨
4. 광주대학교 신소재공학과
(광주시 남구 진월동 592-1)
a. Corresponding Author : tronichkj@gwangju.ac.kr
접수일자 : 2009. 9. 21
1차 심사 : 2009. 11. 11
심사완료 : 2009. 11. 26

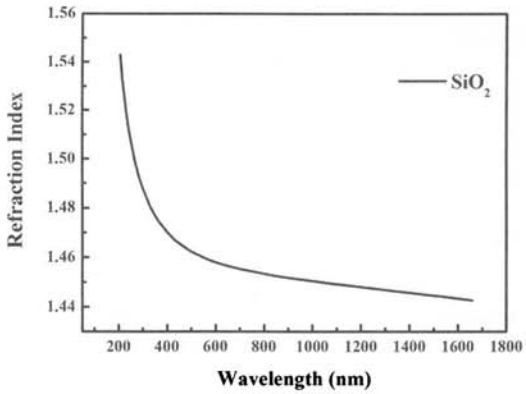
ITO는 In_2O_3와 SnO_2가 90% 대 10%의 비율로 이루어져 있으며, 표면처리에 의해서 일함수 변화가 가능하다[4,5]. ITO의 광학적 특성을 향상시키는 방법으로는 O_2 플라즈마를 통한 표면처리[6], 버퍼층이나 정공 주입층 삽입[7] 방법 등으로 연구 발표되었다.

본 논문에서는 유기발광소자의 투명전극으로 사용되는 ITO의 투과율을 향상시키기 위한 방법으로 ITO와 Glass 사이, Glass 면에 Buffer layer를 적용하였다. Buffer layer는 무반사 박막으로써 ITO와 Glass 및 공기의 굴절률을 보정함으로써 ITO의 발광효율을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 Buffer층으로 사용할 물질로는 SiO_2 와 TiO_2를 사용하였다.

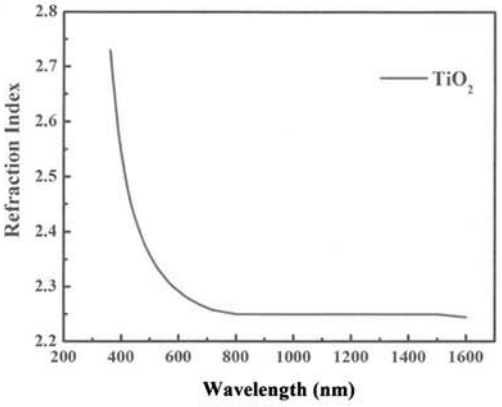
2. 실 험

2.1 Buffer layer 물질 선정 및 설계

Buffer layer로 사용할 물질은 200~4,500 nm 영역에서 투과하며 굴절률이 낮고, 내구성이 높고 외부환경에 강하며 무반사 코팅, 금속 박막의 보호층 등에 사용되고 있는 SiO_2와 투과영역이 400~3,000 nm이며 기계적 내구성이 높아 다층 박막에서 굴절률이 작은 SiO_2와 한 짝을 이루는 고굴절률 박막으로 많이 사용되고 있는 TiO_2 물질을 선정하였다.



(a) SiO_2

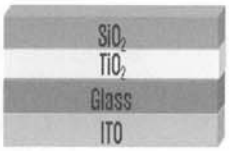


(b) TiO_2

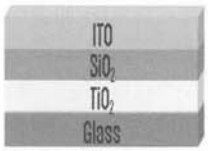
그림 1. Buffer layer 물질의 굴절률.
Fig. 1. Index of Buffer layer material.

Buffer layer의 설계는 선정된 물질의 굴절률을 Eliipsometer를 이용하여 측정하였고, 측정값을 Macleod simulator에 입력하여 510 nm를 기준 파장으로 설정하여 설계하였다. 그림 2는 Buffer layer로 사용한 SiO_2와 TiO_2의 측정한 굴절률 값이다.

Buffer layer의 설계는 ITO와 Glass면의 굴절률 차이를 보정하는 Glass/TiO_2/SiO_2/ITO 구조와 Glass와 공기와의 굴절률 차이를 보정하는 SiO_2/TiO_2/Glass/ITO 구조로 설계하였다. Buffer layer이 적용된 ITO의 구조는 그림 2와 같다. 광학박막 설계 시 Substrate로 사용되는 물질과 그 다음 층으로 증착할 물질은 가급적 굴절률 차이가 많은 물질을 선정해야 한다. 따라서 본 실험에서는 사용한 기판이 Glass 이기 때문에 Glass와 굴절률 차이가 많이 나는 TiO_2 로 결정 하였다. 표 1은 설계된 Buffer layer의 각각의 두께를 나타냈다.



(a) ITO/Glass/TiO_2/SiO_2 구조



(b) Glass/TiO_2/SiO_2/ITO 구조

그림 2. 버퍼층 구조.
Fig. 2. Buffer layer structure.

2.2 Buffer layer 제작

Buffer layer 증착은 이온빔 보조 증착(Ion-assisted deposition system: OTFC-1100, (주) Opto-run), 일본)을 이용하였다. 증착조건은 챔버 내부온도를 150℃를 유지하였으며, TiO_2와 SiO_2의 증착속도는 각각 4 Å/s, 8 Å/s로 증착하였다. 그리고 이온빔의 이온으로는 Ar과 O_2사용하였으며, TiO_2 증착 시 각각 이온량은 50 scm, 10 scm을 흘려주었다. 또한 SiO_2 증착 시 각각의 이온량은 50 scm, 0 scm을 흘려주었다. 증착 이온빔 보조증착은 내구

표 1. 버퍼층의 두께.
Table 1. Thickness of Buffer layers.

Structure	TiO_2 thickness [nm]	SiO_2 thickness [nm]	Total thickness [nm]
ITO/Glass/TiO_2/SiO_2	92.90	55.54	148.44
ITO/SiO_2/TiO_2/Glass	95.95	145.26	241.21

성이 높고 외부 환경의 변화에 강한 고품질의 광학 박막을 증착할 수 있다[8]. 이온빔 기술로는 기존의 진공 열 증발 방법으로 성장하고 있는 박막에 불활성 이온빔의 에너지와 운동량을 전달해 주어, 증착 입자의 이동을 증가시키는 이온빔 보조증착, 산소나 질소 등의 반응 이온빔으로 박막의 화학적 반응을 촉진시키는 반응 이온빔 보조증착으로 주로 나누어진다.

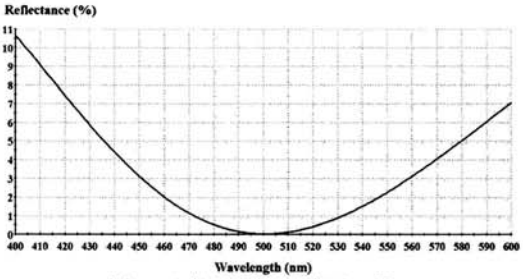
본 실험에서는 기존의 진공 열 증발 방법에 불활성 이온빔의 에너지와 운동량을 전달해주는 이온빔 보조 증착 방식을 이용하였다. 또한 이온빔 보조증착 장비는 산소 반응 이온을 사용하였다. 산소 반응 이온을 사용하면 조밀도를 증가시키고 화학반응을 촉진시키므로 원소조성비가 증가하여 빛의 흡수가 적은 박막을 증착할 수 있다.

3. 결과 및 검토

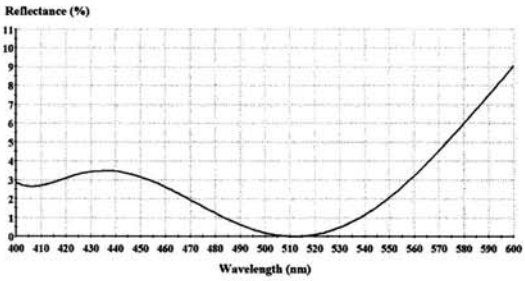
3.1 Buffer layer의 설계 값

설계된 Buffer layer의 설계 결과를 그림 3에 나타냈다. 모든 설계 결과 값이 설계기준파장인 510 nm영역 부근에서 무반사가 나타남을 확인할 수 있었다. 그림 3의 (a)는 공기와 Glass의 굴절률을 보정하기 위한 Glass면에 적용한 것으로 기준파장에서만 반사율이 0이고 주위에서는 반사율 증가하는 V-코팅[9] 형태가 최적의 설계 값이다. 또한, 그림 (b)의 경우는 ITO와 Glass 면의 굴절률을 보정하기 위한 설계 결과 값으로 기준파장인 영역을 기준으로 양 쪽에서 최소 반사율 두 곳 있게 되어 무반사 대역이 넓어지며 이러한 설계를 반사율 모양에 따라 W-코팅의 형태로 설계하였다. 따라서 Buffer layer의 적용 위치에 따라 반사율이 달라짐을 알 수 있었다. 또한 본 실험에서 설계된 Buffer layer를 광학적 특성을 분석하기 위하여 어드미턴스(Admittance) 그림을 이용하였다. 어드미턴스 그림은 박막의 광학 두께가 증가함에 따라 박막의 어드미턴스 변화를 복소수 평면 위에 나타낸 것으로 기판위에서 성장하는 박막의 반사율 증가, 감소와 위상변화 등을 나타낸다[10]. 또한, 어드미턴스를 분석함에 따라 설계된 박막의 반사율을 알 수 있다.

그림 4는 설계된 Buffer layer의 어드미턴스 그림을 나타낸 것이다. ITO/Glass/TiO_2/SiO_2 구조의 어드미턴스 그림을 보면 Glass의 굴절률인 (1.5,0) 지점에서 시작하여 TiO_2와 SiO_2 박막에 의해서 공기



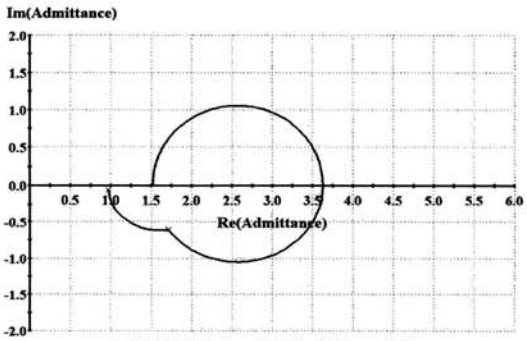
(a) ITO/Glass/TiO_2/SiO_2 구조



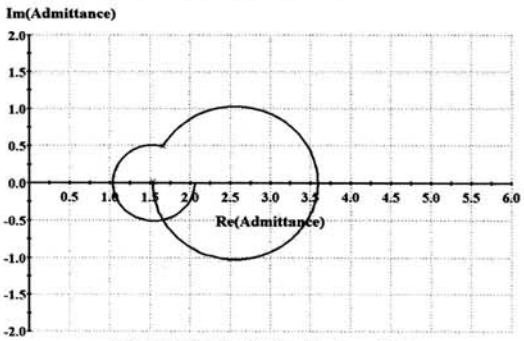
(b) ITO/SiO_2/TiO_2/Glass 구조

그림 3. 버퍼층 설계결과 값.

Fig. 3. Simulation result of Buffer layer.



(a) ITO/Galss/TiO_2/SiO_2 구조



(b) ITO/SiO_2/TiO_2/Galss 구조

그림 4. 버퍼층의 어드미턴스.

Fig. 4. Admittance of Buffer layer.

의 굴절률인 (1.0, 0)에 가까운 값에 도달함에 따라 설계된 Buffer layer의 반사율을 0.1% 이내임을 알 수 있다. 또한, ITO/SiO_2/TiO_2/Glass 구조의 어드미턴스를 보면 ITO의 굴절률인(1.49,0) 지점에서 시작하여 SiO_2 와 TiO_2 박막에 의해서 Glass 굴절률인 (1.5, 0)지점에서 끝남으로서 설계된 Buffer layer의 반사율이 완전한 무반사 박막임을 알 수 있다.

3.2 ITO 투과율

Buffer layer의 구조에 따른 투과 특성을 확인하기 위하여 분광광도계장비를 이용하여 투과율을 측정하였다.

표 2는 설계파장인 510 nm 측정파장에서의 일반적인 ITO, ITO/SiO_2/TiO_2/Galss구조와 ITO/Galss/TiO_2/SiO_2 구조의 투과율 특성이다. ITO 기판의 510 nm영역에서 투과율은 80.60%이다.

제작되어진 ITO/SiO_2/TiO_2/Galss 구조의 투과율은 86.14%이였으며 ITO/Galss/TiO_2/SiO_2 구조의 투과율은 85.07%를 나타냈다.

그림 5는 각각의 Buffer layer이 적용된 ITO의 투과율을 가시광 영역인 300~800 nm에서의 투과율을 나타낸 그래프이다. Buffer layer를 적용함으로써 설계 기준파장인 510 nm 영역에서 일반적인 ITO 투과율보다 5~6% 이상 향상됨을 알 수 있었다. 이것은 Buffer layer에 의하여 Glass 면을 투과하는 빛의 양이 많아지는 것이며, 일반적인 ITO의 Glass 면으로 산란되는 빛의 양을 감소하게 되어짐을 알 수 있다. 그러나 설계 기준파장 영역을 제외한 파장영역에서는 일반적인 ITO보다 Buffer layer를 적용한 ITO의 투과율 이 낮아짐을 확인할 수 있었다. 이것은 설계 시 기준파장 영역부근에서 무반사 박막 효과를 얻기 위한 설계 목적과 일치하며, 따라서 설계 시 ITO의 기준파장 선정이 중요하며, 사용 파장영역으로 결정해야 된다. 또한 Buffer layer를 Glass와 ITO 사이에 적용을 한 ITO 투과율이 1%정도 향상 되었다. 그러나 이것은 설계에 의해서 변할 수 있는 값이다. 따라서 Buffer layer을 적용하는 위치에 따라 ITO 투과율은 약간의 차이만 있을 뿐 많은 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 하지만 실제 유기발광소자와 같은 소자에 적용하였을 때 기준파장에 따라서 발광효율에는 영향을 줄 수 있다고 판단된다. Buffer layer이 적용된 ITO 기판을 사용하였을 경우 발광효율 향상을 줄 수 있다고 판단된다.

표 2. Buffer layer가 적용된 ITO와 일반 ITO의 510 nm 영역에서 투과율.

Table 2. Transmittance of normal ITO and Buffer layer in 510 nm.

Sample	Transmittance[%]
Normal ITO	80.60
ITO/SiO_2/TiO_2/Galss	86.14
ITO/Galss/TiO_2/SiO_2	85.07

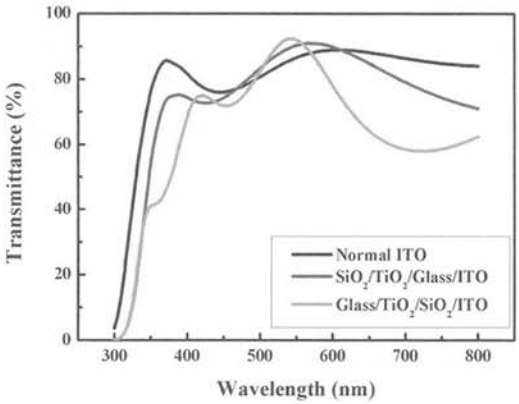


그림 5. Buffer layer 적용한 ITO 투과율.

Fig. 5. Transmittance of ITO with Buffer layer.

4. 결 론

ITO의 투과율을 향상시키기 위해서 Glass면으로 산란되는 빛의 양을 감소하기 위한 방법으로 Buffer layer를 적용하여 ITO 기판을 제작 후 투과율 특성을 연구한 결과는 다음과 같다.

1. Buffer layer를 ITO/Glass/TiO_2/SiO_2와 ITO/SiO_2/TiO_2/Glass 구조로 Macleod simulator를 이용하여 설계하였다. Buffer layer 구조의 각층의 두께는 TiO_2는 95.95와 92.90 nm 이며, SiO_2는 145.26와 55.54 nm이였다. 각 물질의 두께로 설계한 Buffer layer를 Simulation한 결과 설계 파장영역인 510 nm 영역에서 0.1% 이하의 무반사 값을 얻을 수 있었다.

2. ITO/SiO_2/TiO_2/Glass 구조와 ITO/Glass/TiO_2/SiO_2 구조의 투과율은 각각 86.14%와 85.07%를 나타냈다. Buffer layer를 적용함으로써 일반적인 ITO 투과율(80.60%)보다 5~6% 이상 향상됨을 알 수

있었다. 이것은 Buffer layer에 의하여 Glass 면을 투과하는 빛의 양이 많아지는 것이며, ITO의 Glass 면으로 산란되는 빛의 양을 감소하게 되어짐을 알 수 있다.

참고 문헌

[1] P. K. H. Ho, J. S. Kim, J. H. Burroughes, H. Becker, S. F. Y. Li, T. M. Brown, F. Cacialli, and R. H. Friend, "Molecular-scale interface engineering for polymer light-emitting diodes", Nature, Vol. 404, p. 481, 2000.

[2] Ho P. K. H., Granstrom M., Friend R. H., and Greenham N. C., "Ultrathin self-assembled layers at the ITO interface to control charge injection and electroluminescence efficiency in polymer light-emitting diodes", Adv. Mater., Vol. 10, p. 769, 1998.

[3] W. Li, Q. Wang, J. Cui, H. Chou, S. E. Shaheen, G. E. Jabbour, J. Anderson, P. Lee, B. Kippelen, N. Peyghambarian, N. R. Armstrong, and T. J. Marks, "Covalently interlinked organic LED transport layers via spin-coating/siloxane condensation", Adv. Mater., Vol. 11, p. 730, 1999.

[4] J. S. Kim, M, Grandtrom, and R. J. Friend, "Indium-tin oxide treatment for single-and double-layer polymeric light-emitting diodes", J. Appl. Phys., Vol. 84, No. 12, p. 6859, 1998.

[5] 키도 준지, "유기 EL", p. 258, 2001.

[6] D. Lu, Y. Wu, J. Guo, G. Lu, Y. Wang, and J. Shen, "Surface treatment of indium tin oxide by oxygen-plasma for organic light-emitting diodes", Mater. Sci. Eng. B, Vol. 97, p. 141, 2003.

[7] S. A. Van Slyke, C. H. Chen, and C. W. Tang, "Organic electroluminescent devices with improved stability", Appl. Phys. Lett., Vol. 69, p. 2160, 1996.

[8] H. K. Pulker, "Modern optical coating technologies", Proc. SPIE, Vol. 1019, p. 138, 1988.

[9] 황보창권, "박막광학", p. 93, 2005.

[10] 기현철, 김선훈, 홍경진, 김회종, "1.3 um 분포 괴환형 레이저 다이오드의 무반사 설계 및 특성", 전기전자재료학회논문지, 22권, 3호, p. 248, 2009.