

## 박스 캐소드 스퍼터로 성장시킨 전면 발광 OLED용 상부 InZnO 캐소드 박막의 전기적, 광학적, 구조적 특성 연구

### Electrical, Optical and Structural Properties of Indium Zinc Oxide Top Cathode Grown by Box Cathode Sputtering for Top-emitting OLEDs

배정혁<sup>1</sup>, 문종민<sup>1</sup>, 김한기<sup>1,a</sup>  
(Jung-Hyeok Bae<sup>1</sup>, Jong-Min Moon<sup>1</sup>, and Han-Ki Kim<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

Electrical, optical, and structural properties of indium zinc oxide (IZO) films grown by a box cathode sputtering (BCS) were investigated as a function of oxygen flow ratio. A sheet resistance of 42.6  $\Omega/\square$ , average transmittance above 88 % in visible range, and root mean square roughness of 2.7 Å were obtained even in the IZO layers grown at room temperature. In addition, it is shown that electrical characteristics of the top-emitting organic light emitting diodes (TOLEDs) with the BCS grown-IZO top cathode layer is better than that of TOLEDs with DC sputter grown IZO top cathode, due to absence of plasma damage effect. Furthermore the effects of oxygen flow ratio in IZO films are investigated, based on x-ray photoelectron spectroscopy (XPS), ultra violet/visible (UV/VIS) spectrometer, scanning electron microscopy (SEM), and atomic force microscopy (AFM) analysis results.

**Key Words** : Indium zinc oxide, Box cathode sputter, Top-emitting organic light emitting diodes, Top cathode, Plasma damage

#### 1. 서론

미국 Eastman Kodak사의 Tang과 VanSlyke에 의해 유기발광소자 (Organic Light Emitting Device)가 처음 발표된 1986년 이후 유기발광소자는 평판 디스플레이분야에서 차세대 디스플레이로 각광을 받고 있으며 전 세계적인 기술 개발이 활발히 진행되고 있다[1]. 이는 LCD와는 달리 자체 발광에 의한 고효율, 저전압 구동, 넓은 시야각, 간단한 공정, 그리고 빠른 응답속도 등의 특징을 가지고 있어 고화질의 동영상 표현할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문이다[2]. 특히 전면 발광 유기발광소자와 투명 유기발광소자는 유기물에서 발생하

는 빛이 상부로 방출되기 때문에 고휘상도, 고효율, 높은 개구율, 장수명 등의 장점을 가지고 있어 진보된 유기발광소자로 알려져 있다[3]. 이러한 전면발광 유기발광소자를 제작하기 위해선 상부에 투명한 캐소드 박막이 필요하다. 때문에 일반적으로 DC/RF 스퍼터링 또는 PLD (Pulsed Laser Deposition)법으로 만들어진 ITO를 상부 투명 캐소드로 이용하고 있다[3,4]. 프린스턴 대학의 Forrest 그룹은 전면발광 유기발광소자를 제작하기 위하여 매우 얇은 Mg-Ag층(50 ~ 400 Å) 위에 낮은 RF 파워(5 W)를 인가해 스퍼터를 사용하여 상부 ITO 캐소드를 제작하였다[3]. 또한 같은 그룹에서 ITO를 스퍼터링 하는 동안에 플라즈마로 인한 손상을 막아줄 수 있는 버퍼층 개념을 도입하여 플라즈마 노출에 상대적으로 안정한 물질을 ITO 아래에 증착 후 ITO를 성막하여 플라즈마 테미지를 최소화 할 수 있는 방식을 제안 하였다[5,6]. 최근 본 그룹에서도 대향 타겟 스퍼터 방식

1. 국립금오공과대학교 신소재시스템공학부  
(경북 구미시 양호동 1)  
a. Corresponding Author : hkkim@kumoh.ac.kr  
접수일자 : 2006. 3. 2  
1차 심사 : 2006. 3. 17  
심사완료 : 2006. 3. 24

을 이용한 Al, ITO, IZO 캐소드 박막의 플라즈마 데미지 프리 스퍼터링 방식을 제안하고 플라즈마에 손상이 없는 전면 발광형 유기물 발광 소자를 보고하였다[7-9]. 비록 ITO 박막이 애노드 층과 전면 캐소드 층으로써 유기발광소자에 가장 일반적으로 사용되고 있지만, ITO 타겟의 쉬운 열화 특성, 비정질 ITO의 높은 저항, ITO의 화학적 불안정성, 저온 성막의 어려움과 같은 단점을 가지고 있다. 특히 ITO 박막의 전기적, 광학적 특성들은 고온에서 성막을 하거나, 공기나 산소 분위기에서 열처리한 박막에서만 얻을 수 있다. 따라서 보다 우수한 특성을 가지며 저온에서 공정이 가능한 유기물 발광 소자를 제작하기 위해서는 ITO 전극을 대체할 수 있는 Zn를 근간으로 하는  $ZnSn_2O_4$ ,  $ZnSnO_3$ ,  $Zn_2In_2O_5$  등의 새로운 산화물계 투명 전도막이 필요하다. 특히 ZnO가  $In_2O_3$ 에 도핑된 IZO 박막은 우수한 전도성, 높은 투과성, 우수한 표면 특성, 높은 에칭률, 낮은 증착 온도 때문에 최근 ITO를 대체할 수 있는 새로운 투명 전도막으로 각광 받고 있다[10]. 이러한 IZO의 우수한 장점에도 불구하고 아직까지 박스캐소드 스퍼터로 제작된 IZO 박막에 대한 전기적, 광학적, 구조적 특성에 연구는 미흡한 실정이다[9].

따라서 본 연구에서는 박스 캐소드 스퍼터로 성장시킨 IZO 박막의 산소 유량비 변화에 따른 전기적, 광학적, 구조적 특성을 연구하였다. IZO 성막 시  $O_2/Ar$ 의 비를 증가시키면서 이에 따른 박막의 전기적, 광학적, 구조적 특성의 변화를 관찰하였다. 또한 최적의 산소 유량비에서 성장시킨 IZO 박막을 전면 발광형 유기발광소자의 캐소드 박막으로 적용하여 일반적인 DC 스퍼터로 성장시켜 제작한 전면발광형 유기물 소자의 전류-전압 특성과 비교하고 플라즈마 데미지 프리 스퍼터 메카니즘을 설명하였다.

## 2. 실험

전면발광 유기발광소자용 IZO 상부 캐소드 (~1000 Å) 박막은 유기물 광소자용으로 특별히 고안된 박스 캐소드 스퍼터를 이용해 산소 유량비 ( $Ar/O_2$ )의 변화에 따라 성막시켰다. 그림 1에 나타난 박스 캐소드 스퍼터 시스템은 대향 타겟 방식을 도입한 스퍼터 시스템으로 박스 캐소드를 좌우 왕복 시키면서 투명 전도막을 성막할 수 있는 플라즈마 데미지 프리 스퍼터 시스템이다. 서로 마주 보고 있는 IZO 타겟 사이에 일방향의 강한 자

계를 만들어 주고 음극의 DC 전원 두 타겟에 동시에 공급하게 되면 고밀도의 플라즈마가 타겟과 타겟 사이에 형성되어 IZO 타겟의 스퍼터링이 일어나게 되는데 이때 플라즈마를 타겟 사이에 구속시킬 수 있어 플라즈마 노출에 약한 유기물 박막의 열화를 최소화시킬 수 있는 장점을 가지고 있다[7-9,11].

서로 마주 보고 있는 IZO 타겟 ( $600 \times 125 \times 8 \text{ mm}^3$ ) 간의 거리는 50 mm ~ 100 mm 까지 조절될 수 있도록 제작되었다. 이때 기판은 타겟 축으로부터 100 mm 거리에 떨어져 있고 기판과 박스 캐소드간의 거리는 조절이 가능하다. 박스 캐소드의 왕복 운동속도와 DC 전원에 따라 박막의 성장 속도를 조절할 수 있으며 상온에서  $370 \times 400 \text{ mm}^2$  크기의 기판 기준으로 7 % 이내의 두께 균일도를 얻을 수 있다[11]. 성막된 IZO 박막의 표면 구조는 SEM과 AFM으로 분석하였으며 구조적 특성은 XRD 분석을 이용하였다. 또한 XPS (PHI15200) 분석을 통하여 산소 유량비 변화에 따른 IZO 박막의 조성비를 계산하였고, UV/VIS spectrometry를 이용하여 350 nm ~ 800 nm까지의 파장 범위 내에서 IZO의 투과도를 측정하였다. 마지막으로 IZO 캐소드 전극 증착 시 전면발광 유기발광소자의 특성에 미치는 플라즈마 데미지 효과를 관찰하기 위하여 애노드/유기물/캐소드 구조의 test cell을 준비하였다. 정공 수송층(HTL), 발광층(EL), 전자 수송층(ETL)으로 구성된 유기물 박막층들은 열증발법을 이용하여 ITO 애노드로 코팅된 유리기판위에 성막하였다. 이때 NPB ( $\alpha$ -naphthylphenylbiphenyl)와  $Alq_3$  (tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum)을

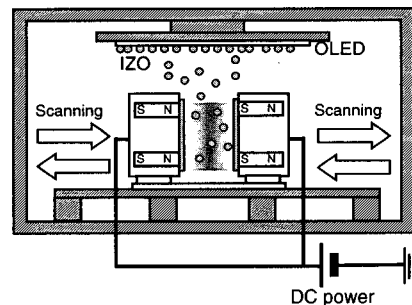


그림 1. IZO 상부 캐소드층을 성막하기 위한 박스 캐소드 스퍼터 시스템의 개략도

Fig. 1. Schematic of a box cathode sputtering (BCS) system for deposition of IZO top cathode layer.

각각 정공 수송층과 발광층/전자 수송층으로 사용하였다. 유기물 박막 성막 후, 5 Å 두께의 LiF 층을 열 증착법으로 Alq<sub>3</sub>층 위에 성막하였고 100 Å 두께의 Mg-Al 합금 박막을 LiF층상에 증착하여 투명 캐소드 층을 완성하였다. 이렇게 제작된 test cell상에 상부 IZO 캐소드를 Ar/O<sub>2</sub> 비율 30:1.5 sccm, 800 W DC전압, 1 mTorr의 작업 압력 하에서 Mg-Ag 음극층 위에 박스캐소드 스퍼터를 이용하여 성막하였다. 이때 플라즈마 데미지 특성을 비교하기 위하여, 일반적인 DC 스퍼터를 이용하여 1000 Å 두께의 IZO 상부 캐소드를 test cell상에 성막하였다. 상부 캐소드 층의 성막 후, test cell들은 공기 중의 습기와 산소의 침투를 막기 위해 봉지 처리되었다. 제작된 전면 발광형 유기발광소자의 전류-전압 특성은 프로그램에 따른 DC source로 구동하는 Photo Research PR-650 spectro-photometer를 사용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 60 mm의 일정한 IZO 타겟간 거리에서 공정 시 작업 압력과 DC 파워의 변화에 따른 방전 전압의 변화를 나타낸다.

그림 2에서 알 수 있듯이 작업 압력이 증가함에 따라 방전 전압은 낮아지게 된다. 작업 압력 증가에 따른 방전 전압 감소는 플라즈마 내의 이온과 v-전자의 증가된 양으로 설명할 수 있다[12]. 즉

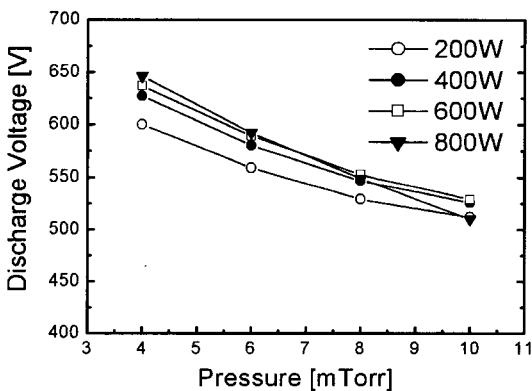


그림 2. 박스 캐소드 건 내의 작업 압력의 증가에 따른 방전 전압 변화.

Fig. 2. Discharge voltage between IZO targets in box cathode gun as a function of working pressure.

압력이 높아지면서 이온화 시킬 수 있는 입자의 수가 증가하며 그에 따른 v-전자의 수도 증가하기 때문에 낮은 방전 전압에서도 플라즈마를 유지시킬 수 있다. 대향 타겟 스퍼터(Facing target sputter)의 방전 전류-전압 특성들을 연구해 온 Nathan 그룹은 플라즈마 내의 이온화는 같은 전류 밀도 하에서 일반적인 DC 스퍼터링과 비교할 때 대향 타겟형 스퍼터가 보다 크게 증가할 수 있다고 보고했다[13]. 그러나 작업 압력이 증가함에 따라 평균 자유 행로 (mean-free path)도 동시에 감소하기 때문에 IZO 박막의 증착 속도도 감소하게 된다. 또한 스퍼터링 된 원자들과 이온들의 random scattering도 작업 압력의 증가에 따라 증가하게 된다[11]. 증착 속도가 작업 압력의 변화에 따라 감소하는 특성을 보이지만 박스 캐소드 스퍼터가 가진 고밀도 플라즈마의 특성과 두 장의 타겟을 동시에 사용하기 때문에 일반적인 DC/RF 스퍼터 보다는 빠른 증착 속도를 나타낸다.

그림 3은 60 mm 일정한 타겟간 거리, 100 mm 타겟과 기관간 거리, 1 mTorr의 작업압력, 800 W의 DC 전력 하에서 1000 Å 두께로 성막된 IZO 박막의 저항 특성을 산소 가스 유량비의 변화에 따라 나타내었다.

그림 3에서 알 수 있듯이 산소 유량비가 증가함에 따라 IZO 박막의 저항도가 점진적으로 감소하였다. IZO 박막의 가장 낮은 저항도는 1.5 sccm의 산소 유량에서  $4.26 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 을 나타내었다. 그러나

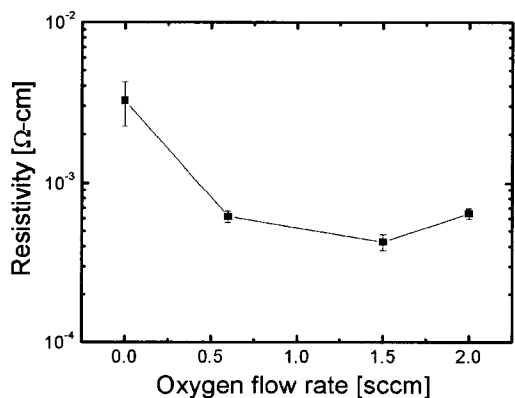


그림 3. 산소 가스 유량비의 증가에 따른 IZO 박막의 저항 변화.

Fig. 3. Resistivity of IZO films on the glass substrate with increasing oxygen gas flow rate.

1.5 sccm 이상의 산소 유량에서는 저항도가 다시 증가하는 경향을 나타내고 있다. 산소 유량의 증가에 따른 IZO 박막의 저항 감소는 산소 가스가 IZO 타겟에 혼입되어 IZO의 타겟의 인듐, 아연, 산소비를 맞추어 주기 때문이라 설명할 수 있다. 과잉 산소 원자들이 타겟 또는 박막으로 혼입되어 조성을 변화시키기 때문에 작은 양의 산소 가스를 투명 전도막의 스퍼터링 공정 시 넣어주는 것은 낮은 저항도와 높은 투과도를 확보한 일반적인 방법이다[11,14]. 그러나 ITO와 달리 IZO에 전기적 특성 변화를 설명할 수 있는 명확한 메커니즘이 확립되지 않은 상태이어서 이에 대한 추가적인 연구가 더 필요하다.

박스캐소드 스퍼터를 이용해 성막한 IZO 박막의 구조적 특성을 관찰하기 위해 XRD 분석을 실시하였다. 그림 4는 일정한 60 mm의 타겟간 거리, 100 mm의 타겟과 기판간 거리, 30 sccm 고정된 Ar 유량, 1 mTorr의 동일한 작업압력, 그리고 800 W DC 전력 하에서 산소 유량비의 변화에 따라 성막시킨 IZO 박막의 XRD 분석 결과이다.

각기 다른 산소 유량비하에서 박스캐소드 스퍼터를 이용하여 성막한 모든 IZO 박막들의 XRD plot은  $2\theta = 25^\circ$  부근에서 넓은 피크를 나타내고 있다. 이러한 넓은 피크 모양은 전형적인 비정질 구조의 특성이다. 이러한 비정질 특성의 IZO 박막 구조는 박스캐소드 스퍼터를 이용하여 박막을 성장

시킬 때 기판의 온도가 낮은 상태로 유지됨을 나타낸다. 실제 Thermo-tape (50~100 °C 범위)을 이용하여 측정을 하여도 50 °C 이하의 온도를 유지함을 관찰할 수 있었다. 이러한 낮은 기판온도는 박스캐소드 건이 플라즈마를 타겟 간에 효율적으로 구속시켜 높은 에너지를 가진 입자의 기판 충돌을 억제하기 때문으로 설명할 수 있다. 일반적으로 Ar/O<sub>2</sub> 분위기에서 DC/RF 스퍼터를 이용하여 산화물 박막을 성장시킬 경우 높은 에너지를 가진 입자의 기판충돌로 인해 기판의 온도가 150 °C 이상 증가하게 되는데 이때 주로 산소 이온의 충돌로 인해 기판에 성막된 박막의 결정화가 일어나게 된다. 즉 높은 에너지를 가진 입자와 박막간의 충돌로 인해 열이 발생되고 이로 인한 산화물 박막의 결정화가 진행되는 것이다. 이러한 미세 결정화 현상으로 인해 상온으로 DC/RF 스퍼터로 성장시킨 투명 전도막의 경우 마이크로 단위의 결정립과 비정질상과 동시에 존재하는 구조를 가지게 된다[8].

산소 유량비 증가에 따른 IZO 박막들의 투과도의 변화를 관찰하기 위하여 350 nm~800 nm의 범위에서 UV/VIS Spectrometry 분석을 실시하였다. 그림 5는 일정한 60 mm의 타겟간 거리, 100 mm의 타겟과 기판간 거리, 30 sccm 고정된 Ar 유량, 1 mTorr의 동일한 작업압력, 그리고 800 W DC 전력 하에서 산소 유량비의 증가에 따른 IZO의 투과도의 변화이다.

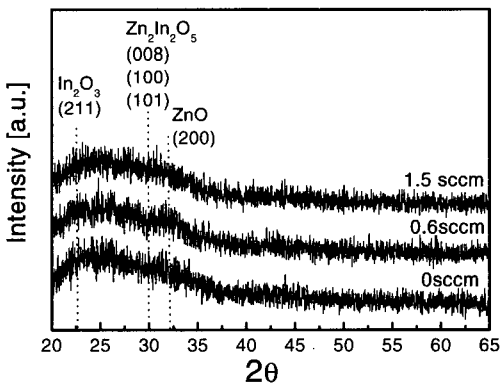


그림 4. 산소 가스 유량비의 변화에 따른 IZO 박막의 XRD plots.

Fig. 4. XRD plots of the IZO films grown on the glass substrate as a function of oxygen gas flow rate.

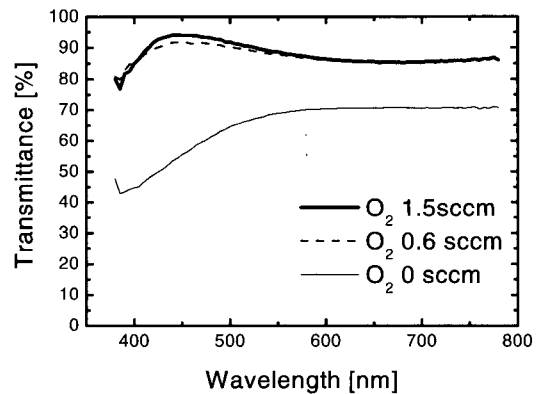


그림 5. 산소 가스 유량비의 변화에 따른 IZO 박막의 투과도 변화.

Fig. 5. Optical transmission spectra for IZO films as a function of oxygen gas flow rate.

그림 5에서 알 수 있듯이 미량의 산소 가스 첨가에 의해 IZO 박막의 투과도가 현격히 증가하게 된다. 특히 1.5 sccm의 산소 유량비에서 성장시킨 IZO 박막의 경우 가장 높은 88 % (550 nm)의 투과도를 나타내고 있다. 산소 가스의 주입 없이 성장시킨 IZO 박막은 다량의 산소 공공이 존재하고 In-Zn 과다상의 존재로 옅은 노란 색을 나타내지만 미량의 산소를 (0.3 sccm 이상) 주입하게 되면 투명한 박막으로 변화하게 된다. 산소 가스를 첨가함으로써 개선되는 투과도는 IZO 박막 내에 있는 산소 공공들의 보충으로 설명 될 수 있다. 즉 IZO 박막 성장 시 산소유량의 증가에 따라 박막 내 인듐, 아연, 산소의 조성비가 조절되기 때문에 IZO 박막의 투과도가 상승하게 된다. 따라서 박막의 저항성과 투과성의 관점에서 보면 상온에서 박스캐소드 스퍼터로 성장시킨 IZO 박막은 고온에서 성장시킨 ITO의 특성 (85~88 %)과 유사한 특성을 나타내게 된다[15].

산소 유량비의 증가에 따른 IZO 박막의 조성비 변화를 알아보기 위해 XPS 분석을 실시하였다. 표 1은 일정한 60 mm의 타겟간 거리, 100 mm의 타겟과 기관간 거리, 30 sccm 고정된 Ar 유량, 1 mTorr의 작업 압력, 그리고 800 W DC 전력 하에서 산소 유량비의 증가에 따른 IZO 박막의 인듐, 아연, 산소의 조성 변화이다. IZO 박막의 전기적, 광학적 특성 결과에서 예측하듯이 산소 가스 증가에 따라 박막 내 산소와 인듐의 조성비가 증가함을 할 수 있다. 그러나 박막 내 아연의 조성비는 감소하게 된다.

그림 6은 산소 유량비의 증가에 따른 성장된 IZO 박막의 PTV(Peak-To-Valley)와 RMS(Root Mean Square) 조도를 나타낸다. 산소 유량비의 증가에 따라 전기적, 광학적 특성이 향상되듯 IZO의 RMS 조도와 PTV 값이 낮아지는 것을 알 수 있다.

표 1. 산소 가스 유량비의 증가에 따른 IZO 박막의 In, Zn, O 조성비 변화.

Table 1. In/Zn/O composition of IZO thin film as a function of oxygen flow ratio.

Ar/O <sub>2</sub> ratio	30/0	30/0.6	30/1.5
O 1s	45. %	46.9 %	47.2 %
In 3d <sub>5</sub>	41.6 %	43.1 %	43.3 %
Zn 2p <sub>3</sub>	12.9 %	10.0 %	9.5 %

상온에서 성장된 IZO 박막의 구조가 비정질 특성을 가지기 때문에 결정질 특성을 가지는 고온에서 성장된 ITO 전극 (RMS > 15 Å, PTV > 100 Å)보다 매우 낮은 RMS 조도와 PTV 값을 나타낸다. 가장 낮은 RMS 조도와 PTV 값을 나타내는 IZO 박막은 1.5 sccm의 산소 유량비에서 성장시킨 시료로서 2.7 Å과 35.5 Å의 값을 나타낸다. 이렇게 낮은 RMS 조도와 PTV 값은 IZO 박막이 전면발광 OLED용 상부 캐소드 박막 뿐 아니라 애노드 ITO 전극까지도 대체할 수 있는 가능성을 나타낸다. OLED용 애노드 박막은 전류 주입에 의한 발광을 하는 OLED의 특성상 평탄한 표면 특성이 매우 중요한데, IZO의 경우 낮은 RMS 조도를 나타내기 때문에 ITO를 대체할 수 있는 물질로 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다.

그림 7은 가장 낮은 RMS 조도와 PTV 값을 나타내는 IZO 박막의 SEM 표면 사진과 AFM 분석 결과를 나타낸다. SEM 표면 사진과 AFM 표면 사진들은 void, crack, channel과 같은 결함이 없고 매우 평탄한 IZO 박막의 표면 상태를 나타내고 있다. 전면발광 유기발광소자용 상부 캐소드의 평탄도는 매우 중요한데 이는 상부 캐소드층 상에 다시 SiN<sub>x</sub>, SiO<sub>2</sub>, SiON과 같은 투명 박막 보호층이 추가적으로 증착될 수 있기 때문이다.

박스 캐소드 스퍼터를 이용한 IZO 상부 캐소드 박막의 증착 공정 시 OLED 소자에 미치는 플라즈

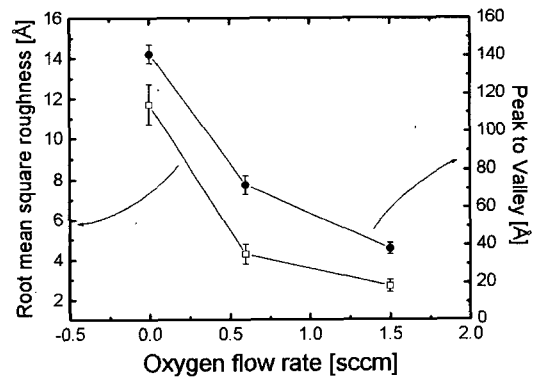


그림 6. 산소 유량비 증가에 따른 IZO 박막의 RMS 조도와 PTV 값.

Fig. 6. RMS roughness and PTV value of the IZO films with increasing oxygen flow rate.

마의 영향을 알아보기 위하여 전면발광 유기발광소자를 제작하여 그 특성을 비교하였다. 그림 8은 박스 캐소드 스퍼터를 이용하여 IZO 상부 캐소드를 증착시킨 전면발광 유기발광소자와 일반적인 DC 스퍼터를 이용하여 IZO를 성막한 전면발광 유기발광소자의 전류-전압 특성을 나타낸다. 또한 비교를 위해 박스캐소드 스퍼터로 성막시킨 ITO 상부 캐소드를 가진 OLED와 얇은 Mg-Ag 캐소드층만을 가지고 있는 OLED (기준 시료)의 전류-전압 특성도 동시에 그림 8에 표시하였다. 박스캐소드 스퍼터를 이용하여 성장시킨 IZO 상부 캐소드 전극을 가진 전면발광 유기발광소자의 전류-전압 특성은 순방향이나 역방향 특성이 모두 Mg-Ag 캐소드 전극만 가진 시료 (기준시료)와 유사한 특성을 보여주고 있다. 특히 역방향 전압 인가 시 누설 전류의 특성이 거의 나타나지 않기 때문에 박스 캐소드를 이용한 IZO 성막 공정이 유기발광소자 특성에 큰 영향을 주지 않음을 의미한다. 그러나 DC 스퍼터를 이용하여 성막한 IZO 상부 캐소드를 가진 전면발광 유기발광소자의 전류-전압 곡선은 높은 문턱 전압을 나타내었다. 이것은 DC 스퍼터링 방법으로 IZO 박막을 스퍼터링 하는 동안 유기발광소자가 플라즈마로부터 영향을 받는다는 것을 암시한다. 특히 역방향 전압인가 시 -6 V 에서 높은 누설전류 ( $10^{-1} \sim 10^0 \text{ mA/cm}^2$ )를 나타내는데 이는 플라즈마의 노출시 캐소드 전극과 유기물간의 반응이나 유기물의 직접적 손상으로부터 기인하게 된다. 또한 0 V ~ 3 V 사이의 순방향 전압 인

가 시에도 기준시료와 달리 높은 누설전류 특성을 나타내는데 이 역시 IZO 성막 공정 시 플라즈마에 노출에 의해 전도성 계면이나 전도성 결함이 형성되었기 때문이다.

그림 8에 삽입된 EL 이미지는 일반적인 DC 스퍼터를 이용하여 제작한 전면발광 유기발광소자의 EL 이미지로 플라즈마 노출에 의해 유기물 층이 영향을 받아 많은 흑점 (Dark spot)이 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 박스 캐소드 스퍼터로 성장시킨 IZO나 ITO 상부 캐소드 전극을 가진 전면발광 유기발광소자는 역방향 전압에서 기준시료와 유사한  $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ mA/cm}^2$  범위의 낮은 누설 전류 밀도 특성을 나타내었고 순방향 전압 인가 시에도 초기 낮은 누설 전류 밀도 특성을 보여 플라즈마에 노출에 영향을 받지 않는다는 것을 나타낸다. 이는 앞서 언급했던 것처럼 캐소드 박막의 스퍼터 공정 시 대부분의 높은 에너지를 가진 입자들이 서로 마주보고 있는 타겟 사이에서 강한 자계와 전기에 의해 구속 될 수 있기 때문이다 [11]. 그로 인해 플라즈마 영역의 밖에 위치한 유기발광소자는 플라즈마 내의 높은 에너지를 가진 입자들의 직접적인 충돌을 피할 수 있다. 결과적으로 박스 캐소드를 이용한 IZO 상부 캐소드를 성막하는 경우 플라즈마의 노출에 의한 유기발광소자의 열화를 최소화 시킬 수 있어 고품위 전면발광 유기발광소자의 제작을 가능케 한다.

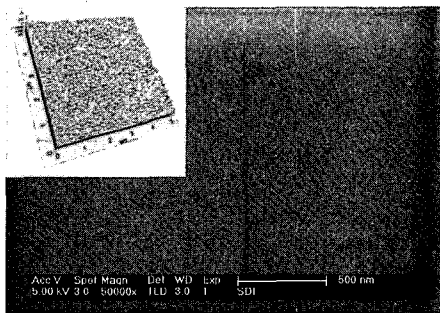


그림 7. 1.5 sccm 산소 유량비 하에서 성막된 IZO 박막의 SEM 과 AFM 표면 사진.  
Fig. 7. SEM and AFM surface image of the IZO film grown at 1.5 sccm of oxygen flow rate.

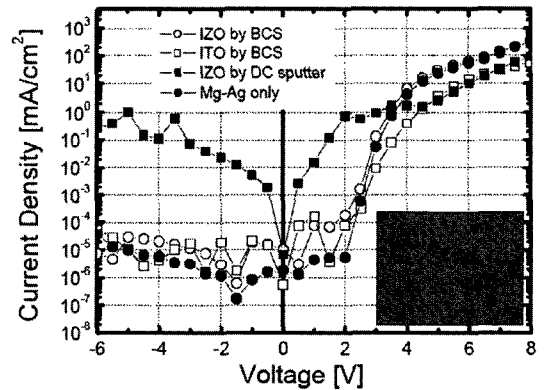


그림 8. 박스 캐소드 스퍼터 및 DC 스퍼터를 이용해 성막한상부 캐소드 전극을 가진 전면 발광 OLED의 전류-전압 특성 및 EL 이미지.  
Fig. 8. I-V characteristics of the TOLEDs with the IZO top cathode layers (BCS and dc sputtering) with inset of EL image.

#### 4. 결 론

박스 캐소드 스퍼터 시스템을 이용하여 성막한 전면발광 유기발광소자 용 IZO 상부 캐소드 전극의 산소 유량비의 증가에 따른 전기적, 광학적, 표면적, 구조적 특성 변화를 연구하였다. 박스 캐소드 스퍼터를 이용하여 IZO 상부 캐소드 성막 시 미량의 산소가 첨가됨에 따라 IZO 박막의 전기적, 광학적, 표면 특성이 향상되는 것을 관찰 할 수 있었다. 이는 첨가된 산소가 박막 및 스퍼터 타겟의 인듐, 아연, 산소간의 조성비를 최적화시키기 때문으로 사료된다. 또한 박스 캐소드 스퍼터 시스템을 이용하여 성막시킨 전면 발광 유기발광소자용 IZO 박막은 일반적인 DC/RF 스퍼터 시스템이 가진 플라즈마 노출에 의한 소자의 열화 현상을 보이지 않음을 관찰 할 수 있었다. 이는 서로 마주 보고 있는 타겟 사이에 형성되어 있는 강한 자계와 전계의 영향으로 플라즈마가 효율적으로 구속됨에 따라 스퍼터 공정 시 소자에 영향을 주게 되는 높은 에너지 입자의 충돌 현상이 현저히 감소하기 때문이다. 이로 인해 박스 캐소드 스퍼터를 이용하여 제작한 전면발광 유기발광소자는 역방향 전압인가 시 낮은 누설 전류 밀도 특성을 나타내었다. 따라서 박스 캐소드 스퍼터를 이용하면 고품위 전면 발광 유기발광소자 및 플렉서블 디스플레이용 플라즈마 데미지 프리 전극을 제작할 수 있고 대면적 유기발광소자의 상용화를 앞당길 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", Appl. Phys. Lett., Vol. 51, p. 913, 1987.
- [2] 김한기, "유기 EL 디스플레이", 한국소성가공학회지, 14권, 9호, p. 731, 2005.
- [3] G. Gu, V. Bulobic, P. E. Burrows, S. R. Forrest, and M. E. Thomson, "Transparent organic light emitting devices", Appl. Phys. Lett., Vol. 68, p. 2606, 1996.
- [4] D. Vaufray, M. Ben Khalifa, J. Tardy, C. Ghica, M. G. Blanchin, C. Sandu, and J. A. Roger, "ITO-on-top organic light emitting devices: a correlated study of optoelectronic and structural characteristics", Semicond. Sci. and Technol., Vol. 18, p. 253, 2003.
- [5] G. Parthasarathy, P. E. Burrows, V. Khalfin, V. G. Kozlov, and S. R. Forrest, "Metal-free cathode for organic semiconductor devices", Appl. Phys. Lett., Vol. 72, p. 2138, 1998.
- [6] G. Garthasarathy, C. Adachi, P. E. Burrows, and S. R. Forrest, "High-efficiency transparent organic light-emitting devices", Appl. Phys. Lett., Vol. 76, p. 2128, 2000.
- [7] H.-K. Kim, D.-G. Kim, K.-S. Lee, M. S. Huh, S. H. Jeong, K. I. Kim, H. Kim, D. W. Han, and J. H. Kwon, "Plasma damage free deposition of Al cathode on organic light emitting devices by using mirror shape target sputtering", Appl. Phys. Lett., Vol. 85, p. 4295, 2004.
- [8] H.-K. Kim, D.-G. Kim, K.-S. Lee, M. S. Huh, S. H. Jeong, and K. I. Kim, "Plasma damage free sputtering of indium tin oxide cathode layers for top emitting organic light emitting diodes", Appl. Phys. Lett., Vol. 86, p. 183503, 2005.
- [9] H.-K. Kim, K.-S. Lee, and J. H. Kwon, "Transparent indium zinc oxide top cathode prepared by plasma-damage free sputtering for top emitting organic light emitting diodes", Appl. Phys. Lett., Vol. 88, p. 012103, 2006.
- [10] J.-J. Ho and C.-Y. Chen, "Power effects in indium-zinc oxide tin films for OLEDs on flexible applications", J. Electrochem. Soc., Vol. 152, p. 57, 2005.
- [11] H.-K. Kim, K.-S. Lee, and H.-A. Kang, "Characteristics of indium zinc oxide cathode layer grown by box cathode sputtering for top emitting organic light emitting diodes", J. Electrochem. Soc., Vol. 153, p. H29, 2006.
- [12] M. Swarnalatha and S. Mohan, "Twin facing target sputtering system for deposition of multilayer and alloy films", Vacuum, Vol. 48, p. 15, 1997.
- [13] S. S. Nathan, G. M. Rao, and S. Mohan, "Process-kinetics in facing targets sputtering of multi-component oxide thin films", Thin Solid Films, Vol. 347, p. 14, 1999.
- [14] H. Hara, T. Hanada, and T. Yatabe,

- "Properties of indium zinc oxide thin films on heat withstanding plastic substrate", J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 22, p. 1726, 2004.
- [15] H. Kim, C. M. Gilmore, A. Pique, J. S. Horwitz, H. Mattoussi, H. Murata, Z. H. Kafafi, and D. B. Chrisey, "Electrical, optical, and structural properties of indium-tin-oxide thin films for organic light emitting devices", J. Appl. Phys., Vol. 86, p. 6451, 1999.