

논문 19-7-15

비정질 IZO 애노드 박막을 이용한 유기물 플렉서블 디스플레이의 상온 제작

Room Temperature Fabrication of Organic Flexible Displays using Amorphous IZO Anode Film

문종민¹, 배정혁¹, 정순욱¹, 박노진¹, 강재욱², 김한기^{1,a}

(Jong-Min Moon¹, Jung-Hyeok Bae¹, Soon-Wook Jeong¹, No-Jin Park¹, Jae-Wook Kang², and Han-Ki Kim^{1,a})

Abstract

We report on the fabrication of organic-based flexible displays using an amorphous IZO anode grown at room temperature. The IZO anode films were grown by a conventional DC reactive sputtering on the polycarbonate (PC) substrate at room temperature using a synthesized IZO target in a Ar/O₂ ambient. Both x-ray diffraction (XRD) and high resolution electron microscope (HREM) examination results show that the IZO anode film grown at room temperature is complete amorphous structure due to low substrate temperature. A sheet resistance of 35.6 Ω/□, average transmittance above 90 % in visible range, and root mean square roughness of 6~10.5 Å were obtained even in the IZO anode film grown on PC substrate at room temperature. It is shown that the Ir(ppy)₃ doped flexible organic light emitting diode (OLED) fabricated on the IZO anode exhibit comparable current-voltage luminance characteristics as well as external quantum efficiency and power efficiency to OLED fabricated on conventional ITO/Glass substrate. These findings indicate that the IZO anode film grown on PC substrate is a promising anode materials for the fabrication of organic based flexible displays.

Key Words : Flexible display, Amorphous IZO, Anode, Polycarbonate, OLED

1. 서론

유기발광소자(Organic Light Emitting Device)는 LCD 뒤를 잇는 차세대 디스플레이로 15 V 이하의 저전압 구동, 높은 발광 효율, 170° 이상의 넓은 시야각, 휘도와 대조비, 10 μs 이하의 빠른 응답속도 등의 면에서 우수하고 대화면의 풀칼라 디스플레이를 구현할 수 있어 현재 모바일용 전자기기용에서 모니터/TV용 디스플레이로의 진입을 눈

앞에 두고 있다[1]. 특히 유기물이 가지는 유연한 특징으로 인해 차세대 디스플레이로 알려진 플렉서블 디스플레이로 응용이 가시화됨에 따라 최근 전 세계적인 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 이러한 플렉서블 디스플레이를 제작하기 위해선 먼저 상온에서 성장시킬 수 있는 고품위의 애노드 박막이 필요하다. 일반적으로 플렉서블 디스플레이에 사용되는 고분자 기판은 물질 특성상 150 °C 이하의 온도에서 공정이 가능하기 때문에 낮은 온도의 공정을 통해서 우수한 전기적, 광학적 특성을 나타낼 수 있는 애노드 박막이 필요하다. 현재까지 대부분의 평판 디스플레이나 유기발광소자에서는 ITO (Sn-doped In₂O₃) 애노드 박막을 사용하고 있으나, ITO 박막의 낮은 저항과 높은 투과도를 확보하기 위해 대부분 250 °C 이상의 고온공정을 사

1. 국립금오공과대학교 신소재시스템공학부
(경북 구미시 양호동 1)
2. 서울대학교 OLED센터
a. Corresponding Author : hkkim@kumoh.ac.kr
접수일자 : 2006. 5. 3
1차 심사 : 2006. 5. 17
심사완료 : 2006. 5. 29

용하기 때문에 플렉서블 디스플레이로의 응용이 어려운 단점을 가지고 있다[3]. 뿐만 아니라 결정성을 가지고 있기 때문에 습식 식각공정이 어렵고 화학적 불안정성으로 인해 ITO 타겟의 품질이 쉽게 저하되는 문제를 가지고 있다[2]. 이로 인해 최근 IZO (ZnO doped In₂O₃) 애노드가 ITO를 대체할 수 있는 새로운 플렉서블 디스플레이용 애노드 물질로 주목을 받고 있다[4-7]. 비정질 구조의 IZO 애노드 박막은 상온에서도 낮은 저항과 높은 투과도를 가질 뿐 아니라, 화학적 안정성으로 인해 산소 가스 없이 아르곤 가스만으로 투명전도막을 구현할 수 있다고 알려져 있다[8]. 뿐만 아니라 IZO 타겟의 안정성으로 인해 연속 공정에서도 타겟의 품질 저하 없이 안정한 IZO 박막을 성장시킬 수 있고 스퍼터 공정 시 방진 안정성도 뛰어나 플렉서블 디스플레이용 애노드 박막으로 적합한 특성을 가지고 있다. 그러나 Zn_xIn_{2-x}O₃ (2 ≤ x ≤ 15) 박막이 가지고 있는 여러 가지 조성으로 인해 조성에 따라 특성이 크게 변화하는 단점도 가지고 있어 최적화 공정을 위해서 타겟의 선택과 공정의 최적화가 중요하다[9]. 플렉서블 디스플레이에 적합한 IZO 애노드 박막의 우수한 특성에도 불구하고 조성의 최적화 작업이 어렵기 때문에 아직까지 많은 보고가 되어 있지 않고, 이로 인해 IZO 애노드를 이용한 플렉서블 디스플레이에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 Polycarbonate (PC) 기판 위에 DC 스퍼터를 이용해 상온에서 성장시킨 IZO 애노드 박막의 구조적, 전기적, 광학적, 표면 특성을 분석하였다. 또한 최적의 조건에서 PC 기판 상에 성장시킨 IZO 애노드를 이용해 인광형 유기발광소자를 제작하여 플렉서블 디스플레이를 제작하고 그 특성을 분석하였다. 비교를 위해 상용화된 ITO/유리 기판 상에 동일 조건에서 인광형 유기발광소자를 제작하여 IZO 애노드 상에 제작된 유기발광소자의 특성과 비교함으로써 IZO 애노드 박막의 우수성을 입증하였다.

2. 실험

IZO 애노드 박막을 상온에서 PC 기판위에 성막하기 위하여 직접 제작된 In₂O₃:ZnO (90:10 wt%) 타겟이 장착된 DC 스퍼터를 사용하였다. 시스템의 진공도를 2 × 10⁻⁶ Torr 이하로 유지하고 기판과 타겟의 거리를 80 mm로 고정하였다. 먼저 IZO 애

노드를 성막하기 전에 5 min 동안 Ar/O₂ 분위기에서 프리 스퍼터링을 진행하여 타겟의 불순물을 제거하였다. IZO 애노드 성막 시 작업 압력은 5 mTorr로 유지하였으며, 1 kW의 DC 파워를 인가하고 Ar/O₂ 비를 0.04로 유지하였다. 이때 기판의 온도는 50 °C로 유지하였으며 성막 시간을 조절하여 IZO 박막의 두께를 조절하였다. XRD와 HREM 분석을 통하여 상온에서 성장시킨 IZO 박막의 구조적 분석을 진행하였고, 홀 측정을 통해 성막된 IZO 박막의 전기적 특성을 분석하였다. 또한 UV-Vis spectrometry를 이용하여 가시광선 영역에서의 IZO/PC 기판의 투과도를 분석하였고 SEM 분석을 통해 PC 기판위에 성막된 IZO의 표면 특성을 관찰하였다. 최적의 조건에서 PC 상에 성장된 IZO 애노드를 이용해 플렉서블 디스플레이를 제작하기 위하여 저분자 유기물을 이용하였다. IZO가 성막된 PC 기판을 methanol, DI water의 순서대로 각각 2분간 초음파 세척을 한 후 오존처리와 플라즈마 표면처리를 진행하였다. 표면 세척을 마친 샘플들을 1 × 10⁻⁷ Torr 압력하에서 유기물 증착기를 이용해 다음 순서에 따라 유기물 박막을 증착하였다: 먼저 40 nm 두께의 α-naphthyl-phenylbiphenyl(NPB)과 6 wt%의 [Ir(ppy)₃]가 도핑된 30 nm 두께의 4,4'-bis(9-carbazolyl)-biphenyl (CBP)를 정공수송층과 발광층으로 각각 증착하였다. 이후 2,9-Dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline (bathocuproine: BCP)를 hole blocking층으로써 발광층 위에 10 nm 두께로 성막시켰으며 전자수송층으로 tris-(8-hydroxyquinoline)aluminum (Alq₃)를 40 nm의 두께로 증착하였다. 또한 1 nm 두께의 LiF를 이용하여 전자주입층(EIL)을 형성하였다. 마지막으로 새도우 금속 마스크를 이용하여 100 nm 두께의 Al 캐소드를 증착하였다. 이때 상온에서 성장시킨 IZO 애노드 박막의 특성 비교를 위해 현재 유기발광소자의 양산에 사용되는 ITO/유리 기판 시료를 비교 샘플로 정하고 애노드를 제외한 모든 유기물 층과 캐소드 층이 같은 유기발광소자를 제작하였다. IZO/PC 기판과 ITO/Glass 기판에 각각 제작된 유기발광소자를 Keithely 2400 와 Si 포토다이오드를 이용하여 전류-전압-휘도 특성을 측정하고 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 DC스퍼터로 상온에서 PC기판 상에 성막시킨 IZO 애노드 박막의 XRD 분석 결과이다.

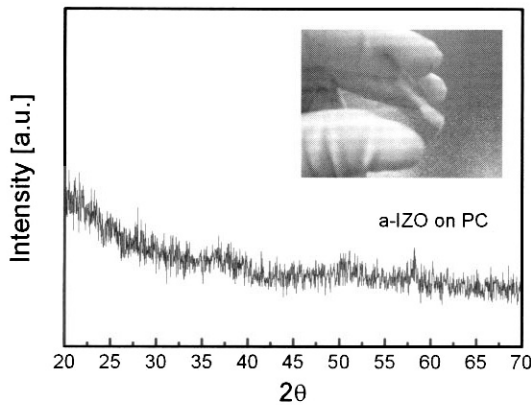


그림 1. DC 스퍼터를 이용하여 상온에서 PC 기판 상에 성막한 IZO 박막의 XRD결과와 사진.

Fig. 1. XRD plot of IZO film grown on PC substrate using a DC sputtering at room temperature.

전체적으로 방향성이 없는 비정질 특성을 나타내고 있는데 이는 기판의 온도가 낮은 상태로 유지됨을 말해준다. 일반적으로 ITO 애노드의 경우 낮은 저항과 높은 투과율을 확보하기 위하여 200 °C 이상의 고온공정을 통해 결정형 박막을 성장시키지만, IZO 애노드의 경우 비정질 상태에서도 낮은 저항과 높은 투과율을 얻을 수 있어 플렉서블 디스플레이 제작에 있어 유리한 특성을 가지고 있다. 특히 비정질 IZO 애노드는 In_2O_3 내의 ZnO의 고용도가 낮기 때문에 스퍼터로 성막하더라도 산소 첨가에 의한 결정화나 미세한 구조의 결정성장이 이루어지지 않으며 그림 1에서처럼 상온에서도 완전한 비정질 구조를 구현할 수 있어 ITO를 대체할 수 있는 유망한 재료로 알려져 있다. 그림 1에 첨부된 사진은 PC 기판에 상온에서 비정질 IZO 애노드를 성막한 후 휘어진 상태에서도 특성의 큰 변화 없이 안정된 상태를 보이는 기판의 모습이다.

그림 2는 상온에서 DC 스퍼터를 이용해 Si 상에 성막시킨 IZO 애노드 박막의 고분해능 투과전자현미경(HREM) 분석 결과이다. 투과 전자현미경 분석용 샘플을 제작하기 위해 같은 성장 조건에서 PC 기판 대신 Si 기판을 사용하여 IZO 박막을 상온에서 증착하였다. XRD 결과에서 예측할 수 있듯이 상온에서 성장한 IZO 박막은 전체적으로 균일한 비정질 특성을 나타내고 있으며 마이크로 결정립이 없는 완벽한 비정질 구조를 나타내고 있다.

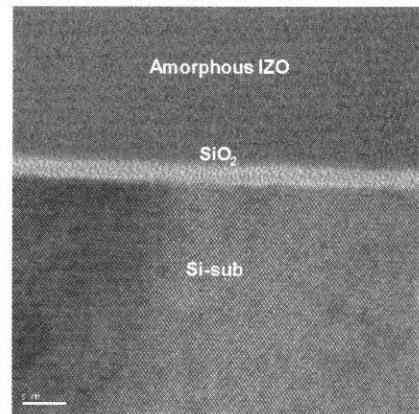


그림 2. DC sputter를 이용하여 상온에서 Si 기판 상에 성막한 IZO 박막의 고분해능투과전자현미경(HREM) 단면 이미지.

Fig. 2. Cross-sectional HREM image of the IZO film grown on Si substrate using a DC sputtering at room temperature.

일반적으로 산소가 첨가된 분위기에서 성장하는 투명전도막은 상온에서 성장시키더라도 비정질 구조에 마이크로 결정립이 분산되어 있는 구조를 나타내지만 IZO의 경우 구조적 안정성에 의해 균일한 비정질 구조를 나타내고 있다[10].

표 1은 상온에서 PC 기판 위에 성장시킨 IZO 박막(120 nm)의 홀 측정 결과를 나타낸다. 상온에서 성장시켰음에도 불구하고 35.6 Ω/\square 의 비교적 낮은 표면 저항을 나타내고 있다. 이동도 역시 저온 성장에도 불구하고 높은 값을 나타내고 있다. 저항을 낮추기 위해선 좀 더 높은 온도에서의 성막이 필요하지만 PC 기판을 사용하는 플렉서블 디스플레이를 고려하면 낮은 온도에서의 공정이 바람직하게 된다. 현재 유기발광소자의 상부 투명 캐소드 박막의 경우 50 Ω/\square 이하의 저항이면 응용이 가능하나 애노드의 경우 15 Ω/\square 이하의 낮은 표면 저항을 필요로 하기 때문에 상온 공정 변수의 최적화를 통한 좀 더 낮은 저항의 IZO가 요구된다. 따라서 타겟의 조성이나 상온 공정 변수를 조절하여 전기적 특성을 향상시키는 연구가 좀 더 필요한 실정이다.

그림 3은 상온에서 PC 기판 위에 성막한 비정질 IZO 애노드 박막의 UV/Vis spectrophotometer 측정 결과이다. 상온에서 성장시켰음에도 불구하고 510 nm과 550 nm에서 각각 85.3 %와 90 %의 높은 투과율을 나타내고 있으며 이러한 값은 상용화

표 1. DC 스퍼터로 상온에서 성막한 비정질 IZO 애노드 박막의 홀 측정 결과.

Table 1. Hall measurement of the amorphous IZO anode film grown on PC substrate by DC sputtering.

Amorphous IZO anode film on PC substrate	
Resistivity	35.6 Ω/□
Mobility	26.3 cm ² /V.s
Concentration	6.67×10 ¹⁵

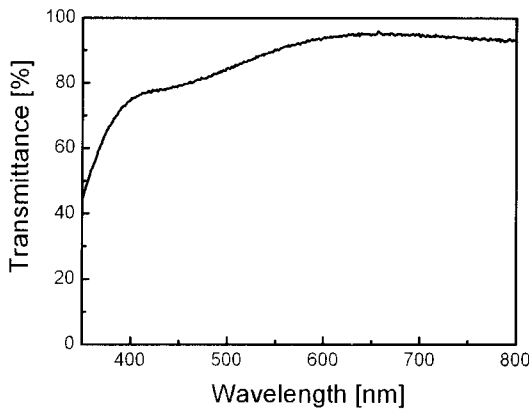


그림 3. 상온에서 PC 기판 위에 성막한 비정질 IZO 애노드 박막의 투과도.

Fig. 3. Transmittance of the amorphous IZO anode films grown on the PC substrate at room-temperature.

된 ITO 애노드 박막(85~88%) 보다 높은 값이다. 또한 500 nm에서 550 nm사이의 범위에서 평균 87%의 높은 투과도를 나타낸다. 또한 가시광선 영역에서 전체적으로 높은 투과도를 나타내고 있는데 이는 플렉서블 디스플레이 응용가능성을 한층 높이는 결과이다. 일반적으로 상온에서 성장되는 ITO는 산소의 조성비가 맞지 않아 낮은 투과도를 나타낼 뿐만 아니라, 청색 영역에서 낮은 투과도를 나타내는데 비해 상온에서 성장시킨 IZO는 청색 영역에서도 비교적 높은 투과도를 나타내고 있다. 이러한 높은 비정질 IZO 애노드의 투과도는 상온에서 강한 In-O와 Zn-O 결합과 상온 공정 시 최적화된 Ar/O₂비에 의해 In/Zn/O의 조성비가 최적화되어 나타나는 현상으로 설명할 수 있다[11].

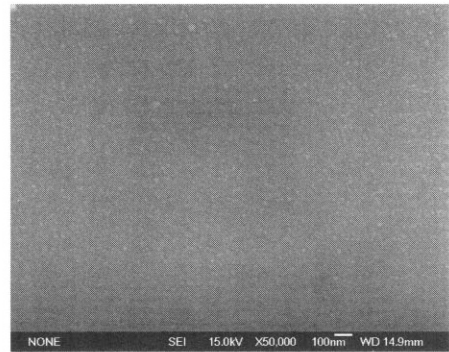


그림 4. 상온에서 PC 기판 위에 성막한 비정질 IZO 애노드 박막의 SEM 표면 이미지.

Fig. 4. SEM surface image of the amorphous IZO anode film grown on the PC substrate at room-temperature.

그림 4는 PC 기판 위에 상온에서 성막한 비정질 IZO 애노드 박막의 주사전자현미경(SEM) 표면 사진이다. 상온에서 성장하였기 때문에 평탄한 표면을 가지는 비정질 구조의 특성을 나타내고 있다. 일반적으로 유리 기판 보다 PC 기판이 표면조도가 높기 때문에 PC 기판 상에 성장하는 투명전도막이 유리 기판 위에 성장하는 투명전도막 보다 높은 표면 조도를 나타낸다. SEM 표면 사진에서도 알 수 있듯이 결정질의 투명 전도막보다는 균일한 표면 특성을 나타내지만 유리 기판에 성장시킨 IZO 보다는 거친 표면을 나타낸다. 애노드 전극표면의 평탄성이 좋지 않을 경우 애노드의 계면과 이후에 성막되는 유기물 재료와의 접합성이 나빠지게 되며 애노드 박막의 표면 조도가 클 경우 전류집중 현상을 초래하여 소자의 효율 및 특성을 저하시키게 된다[12]. 상용화된 ITO 애노드 박막의 경우 고온에서 성장하기 때문에 표면 조도가 높아 기계적 평탄화 공정을 거쳐야 하는데, 상온에서 PC상에 성막시킨 IZO의 경우 상온에서도 낮은 표면 조도(6~10.5 Å)를 가지는 균일한 표면을 나타냄으로 기계적 평탄화 공정 없이 플렉서블 디스플레이에 응용할 수 있는 가능성을 보여준다.

PC 기판 위에 상온에서 성막시킨 비정질 IZO 애노드 상에 제작한 다층 구조의 유기물 플렉서블 디스플레이 소자의 구조와 사용된 유기물 재료의 구조를 그림 5에 나타내었다. PC 기판 위에 140 nm의 비정질 IZO 애노드를 성막한 후 정공수송층(HTL), 발광층(EL), 정공방지층(HBL), 전자수송층

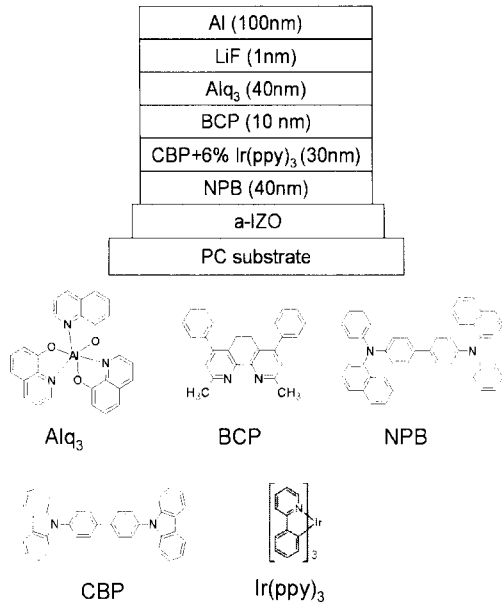


그림 5. PC 기판위에 성막한 비정질 IZO 애노드 상에 제작된 유기물 플렉서블 디스플레이의 구조와 유기물 구조.

Fig. 5. Schematic structure of organic flexible display and organic materials fabricated on amorphous IZO/PC substrate.

(ETL)의 순서로 유기물을 증착하였고, 전자주입층(EIL)과 캐소드로 LiF/Al를 사용하여 소자를 제작하였다. NPB는 정공수송층으로 주로 쓰이는 물질이며 CBP와 BCP 또한 유기발광소자에서 발광층과 정공방지층으로 많이 사용되고 있는 재료이다 [13,14]. BCP는 6.7 eV의 낮은 HOMO(High Occupied Molecular Orbital) 준위를 가지고 있어 정공의 이동을 효율적으로 막을 수 있어 발광층에서 전자와 정공의 결합 효율을 증가시킨다[15]. 소자의 외부양자 효율 (External quantum efficiency)을 증가시키기 위해 CBP에 6 wt% Ir(ppy)₃의 인광재료를 도핑하여 발광 효율을 높은 발광층을 이용하여 플렉서블 디스플레이를 제작하고 전류-전압-휘도 특성을 분석하였다.

그림 6은 상온에서 PC 기판 상에 성막한 비정질 IZO 애노드와 상용화된 ITO/유리 기판을 사용하여 제작한 유기발광소자의 전류-전압-휘도 특성을 나타낸다. 인가전압에 따른 전류밀도의 변화는 초기 전압에서 일정하게 낮은 전류밀도를 보이는

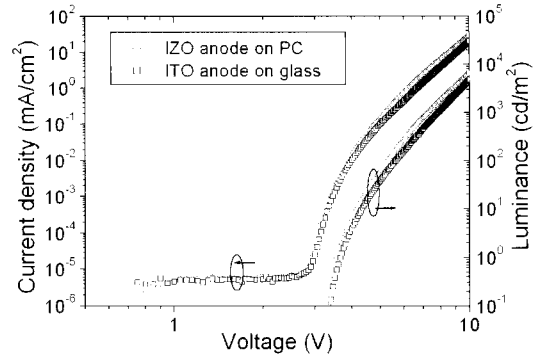


그림 6. IZO/PC와 ITO/glass 기판 상에 제작된 유기물 플렉서블 디스플레이의 전압-전류-휘도 특성.

Fig. 6. Current-voltage-luminance characteristics of organic flexible display fabricated on IZO/PC and ITO/glass substrate, respectively.

특성을 나타내다가 3 V 부근에서 급격히 증가하는 특성을 나타내었다. 비정질 IZO/PC를 사용하여 제작한 소자의 경우 10 V에서 20.7 mA/cm²의 전류밀도를 나타내었고 ITO/유리 기판을 이용하여 제작한 소자의 전류밀도는 10 V에서 19.7 mA/cm² 유사한 전류-전압 특성을 나타내고 있다. IZO 애노드의 경우 상온에서 성장하였음에도 불구하고 고온에서 성장시킨 ITO 애노드와 유사한 소자 특성을 나타내고 있다. 그러나 휘도-전압 특성은 IZO/PC 상에 제작한 유기발광소자가 ITO/유리 기판에 제작한 유기발광소자보다 우수한 특성을 나타내고 있다. 10 V의 전압 인가 시 ITO/유리 기판을 이용하여 제작한 소자는 4000 cd/m²의 휘도를 나타내었으나 IZO/PC 기판 상에 제작한 소자의 경우 6000 cd/m²의 높은 휘도를 나타내었다.

그림 7은 상온에서 PC 기판 상에 성막한 비정질 IZO 애노드를 이용하여 제작한 플렉서블 유기발광소자의 EL 스펙트럼 결과이다. 510 nm 파장에서 최대발광을 나타내었고 녹색 영역에서 넓은 EL 스펙트럼을 나타내었다. 이러한 유기발광소자의 EL 스펙트럼은 4,4'-bis(9 carbazolyl)-biphenyl (CBP)와 tris-(8-hydroxyquinoline)aluminum (Alq₃) 같은 호스트 물질에 Ir(ppy)₃을 도핑한 발광층을 적용한 유기발광소자에서 일반적으로 나타나는 특성이다[16,17].

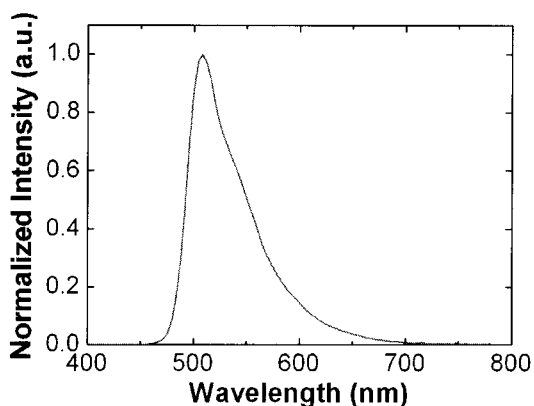


그림 7. 상온에서 PC 기판 상에 제작된 IZO 애노드를 가진 유기물 플렉서블 디스플레이의 EL 스펙트럼.

Fig. 7. Normalized EL spectra of the flexible display with IZO anode grown on the PC substrate at room temperature.

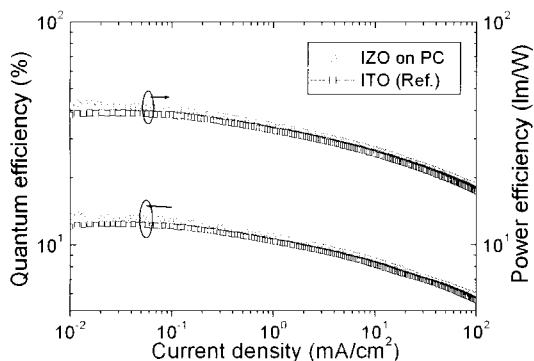


그림 8. IZO/PC와 ITO/glass 기판 상에 제작된 유기물 플렉서블 디스플레이와 유기발광소자의 외부양자효율 및 전력효율.

Fig. 8. External quantum efficiency and power efficiency of the flexible OLED and OLED fabricated on IZO/PC and ITO/glass substrate.

그림 8은 상온에서 PC 기판 상에 성막한 비정질 IZO 애노드를 이용하여 제작한 플렉서블 유기발광소자와 ITO/유리 기판을 이용하여 제작한 유기발광소자의 외부양자효율 및 전력효율 결과이다. 진류-전압-휘도 특성에서 예상할 수 있듯이 비정질 IZO 애노드와 결정질 ITO 애노드가 유사한 외

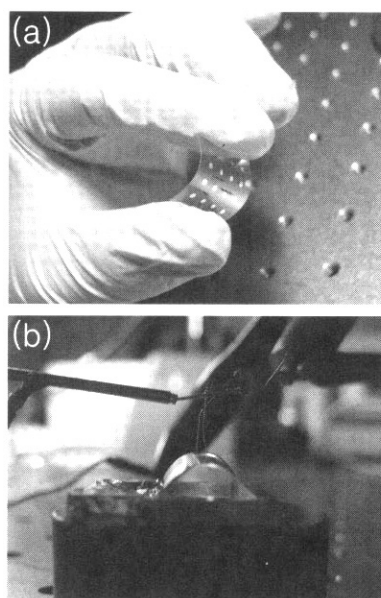


그림 9. (a) 비정질 IZO/PC 기판위에 제작된 유기물 플렉서블 디스플레이와 (b) 휘어진 상태에서 발광하는 플렉서블 디스플레이의 사진.

Fig. 9. (a) Image of organic flexible display fabricated on the amorphous IZO/PC substrate and (b) electroluminescence (EL) image from curved flexible display.

부양자효율 특성과 전력효율을 나타내고 있다. 비정질 IZO 애노드 상에 제작된 유기물 플렉서블 디스플레이의 경우 14 %대 최대 양자 효율과 약 35 lm/W의 최대 전력효율을 나타내었으며, ITO 애노드 상에 제작된 유기발광소자의 경우 12 %대의 최대양자효율과 약 30 lm/W의 전력효율을 나타내었다. IZO 애노드 박막의 경우 상온에서 제작되었음에도 불구하고 고온에서 제작된 ITO 애노드와 유사한 양자효율과 전력효율을 나타내는데 이는 IZO 애노드가 상온 공정이 필수적인 플렉서블 디스플레이에 적합함을 말해준다.

그림 9는 PC 기판위에 상온에서 성막한 IZO 애노드 상에 제작한 플렉서블 디스플레이의 휘어진 모습과 휘어진 상태에서 발광을 하는 모습을 나타낸 사진이다. 그림 9(a)의 완성된 소자의 경우 Al을 제외한 모든 구성요소들이 비정질 상태이기 때문에 외부 힘에 의한 변형에도 안정된 모습을 보

이고 있다. 이는 비정질 구조의 전극이나 박막이 플렉서블 디스플레이 제작에 유리하다는 것을 단적으로 말해주고 있다. 또한 그림 9(b)에 나타내듯이 휘어진 상태에서의 플렉서블 디스플레이의 전기적 특성 역시 휘어지지 않은 상태와 큰 차이를 보이지 않았다.

4. 결론

DC스퍼터를 사용하여 상온에서 IZO 애노드를 성막한 PC 기판을 이용하여 유기발광소자를 제작하고 IZO 애노드 박막의 구조적, 표면적, 광학적, 전기적 특성을 평가하였다. 상온 IZO 애노드 박막은 DC스퍼터를 사용하여 낮은 기판온도에서 성막하였기 때문에 완전한 비정질의 구조를 가지고 있으며 비정질의 구조임에도 90 %의 높은 투과도를 나타내었다. 뿐만 아니라 우수한 표면 특성을 가지고 있어 표면의 조도가 중요한 요소인 유기발광소자용 애노드 박막으로 적용이 기대된다. 또한 상온에서 PC 기판 상에 성막한 IZO 애노드를 이용하여 제작한 플렉서블 유기발광소자의 진류-전압-휘도 특성은 현재 유기발광소자의 양산에서 사용되는 결정질 ITO 애노드 상에 제작한 유기발광소자와 유사한 특성을 나타내었다. 이는 상온에서 제작된 비정질 IZO 애노드가 차세대 디스플레이로 알려진 플렉서블 디스플레이의 애노드로의 적합성을 말해준다. 뿐만 아니라 비정질 IZO의 전기적, 광학적 특성에서도 결정질 ITO와 유사하거나 우수하기 때문에 머지않아 ITO 애노드를 대체할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 논문은 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의해 진행되었음을 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 김한기, "유기 EL 디스플레이", 한국소성가공학회지, 14권, 9호, p. 731, 2005.
- [2] R. B. H. Tahar, T. Ban, Y. Outaka, and Y. Takahashi, "Tin doped indium oxide thin films: Electrical properties", J. Appl. Phys., Vol. 83, p. 2631, 1998.
- [3] G. Franz, B. Lange, and S. Sotier, "Characteristics of sputtered indium tin oxide layers as transparent contact materials", J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 19, p. 2514, 2001.
- [4] J. -J. Ho and C. -Y. Chen, "Power effects in indium-zinc oxide thin films for OLEDs on flexible applications", J. Electrochem. Soc., Vol. 1152, p. 57, 2005.
- [5] Y. S. Song, J. K. Park, T. W. Kim, and C. W. Chung, "Influence of process parameters on the characteristics of indium zinc oxide thin films deposited by DC magnetron sputtering", Thin Solid Films, Vol. 467, p. 117, 2004.
- [6] 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. Letts., Vol. 88, p. 012103, 2006.
- [7] H.-K. Kim, K.-S. Lee, and H. A. Kang, "Characteristics of indium zinc oxide top cathode layer grown by box cathode sputtering for top-emitting organic light-emitting diodes", J. Electrochem. Soc., Vol. 153, p. 29, 2006.
- [8] G. P. Crawford, "Flexible flat panel displays", Wiley-SID series in display technology, John Wiley & Sons, England, 2005.
- [9] C. Marcel, N. Naghavi, G. Couturier, J. Salardenne, and J. M. Tarascon, "Scattering mechanisms and electrical behavior in transparent conducting $Zn_xIn_2O_{x+3}$ indium-zinc oxide films", J. Appl. Phys., Vol. 91, p. 4291, 2002.
- [10] H. K. Kim, D.-G. Kim, K.-S. Lee, M.-S. Huh, S. H. Jeong, K. I. Kim, and T.-Y. Seong, "Plasma damage-free sputtering of indium tin oxide cathode layers for top-emitting organic light-emitting diodes", Appl. Phys. Letts., Vol. 86, p. 183503, 2005.
- [11] 배정혁, 문종민, 김한기, "박스캐소드 스퍼터로 성장시킨 전면 발광 OLED용 상부 InZnO 캐소드 박막의 전기적, 광학적, 구조적, 특성", 전기전자재료학회논문지, 19권, 5호, p. 442, 2006.

- [12] Y. Yu, Q. Huang, A. W. Metz, J. Ni, S. Jin, T. J. Marks, M. E. Madsen, A. Divenere, and S.-T. Ho, "High-performance organic light-emitting diodes using ITO anodes grown on plastic by room-temperature ion-assisted deposition", *Adv. Mat.*, Vol. 16, p. 321, 2004.
- [13] R. S. Deshpande, V. Bulovic, and S. R. Forrest, "White-light-emitting organic electroluminescent devices based on interlayer sequential energy transfer", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 75, p. 888, 1999.
- [14] V. G. Kozirov, G. Parthasarathy, P. E. Burrows, S. R. Forrest, Y. You, and M. E. Thompson, "Optically pumped blue organic semiconductor lasers", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 72, p. 144, 1998.
- [15] Z. T. Liu, C. Y. Kwong, C. H. Cheung, A. B. Djuricic, Y. Chan, and P. C. Chui, "The characterization of the optical functions of BCP and CBP thin films by spectroscopic ellipsometry", *Synthetic Metals*, Vol. 150, p. 159, 2005.
- [16] M. A. Baldo, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, "Phosphorescent materials for application to organic light emitting devices", *Pure Appl. Chem.*, Vol. 71, p. 2095, 1999.
- [17] T. Tsuboi and M. Tanigawa, "Optical characteristics of PtOEP and Ir(ppy)₃ triplet-exciton materials for organic electroluminescence devices", *Thin Solid Films*, Vol. 438-439, p. 301, 2003.