

RF 플라즈마를 이용한 유기 EL 소자의 전극형성에 관한 연구

A Study on the Electrode Formation of an Organic EL Devices using the RF Plasma

이은학^{1,a}
(En-Hak Lee^{1,a})

Abstract

In this thesis, it is designed efficient electrode formation on the organic luminescent device. ITO electrode is treated with O₂ plasma. In order to inject hole efficiently, there is proposed the shape of anode that inserted plasma polymerized films as buffer layer between anode and organic layer using thiophene monomer. It is realized efficiently electron injection to aluminum due to introduce the quantum well in cathode. In the case of device inserted the buffer layer by using the plasma polymerization after O₂ plasma processing for ITO transparent electrode, since it forms the stable interface and reduce the moving speed of hole, the recombination of hole and electronic are made in the emitting layer. Compared with the devices without buffer layer, the turn-on voltage was lowered by 1.0[V] due to the introduction of buffer layer. Since the quantum well structure is formed in front of cathode to optimize the tunneling effect, there is improved the power efficiency more than two times.

Key Words : Oxygen plasma treatment, Plasma polymerization, OLED, Electroluminescence(EL), LiF

1. 서 론

1987년 Eastmann kodak의 Tang에 의해 유기 발광소자(OLED : Organic Light Emitting Diode)가 개발된 이래 이러한 유기 물질을 이용한 발광소자에 대한 연구가 급격히 활발해졌다[1]. 인광물질(phosphors) 계통의 무기물로 이루어진 발광소자(EL : Electroluminescence)의 경우 구동전압이 교류 200V이상 필요하고, 소자의 제작방법상 대형화가 어렵고 특히 청색 발광이 어려우며 가격이 비싸다는 단점이 있다. 그러나 유기물로 제작된 전

계 발광 소자는 유기물의 합성경로가 다양하고 합성된 분자의 성질이 그대로 나타나므로 청색 발광이 용의하고 전색화가 가능하다. 이러한 π -공액 구조를 갖는 유기 발광물질을 이용하는 발광소자는 저전압 구동, 박막형태 가능, 발광 빛의 균일성, 용이한 패턴 형성, 발광 효율, 구부릴 수 있는 형태의 소자(Flexible device) 제작가능, 대량생산 가능 등의 큰 장점을 가지고 있다[2-4].

최근 이러한 유기 발광소자에 대한 연구는 주로 소자의 효율(Efficiency) 및 수명(Lifetime)의 향상에 집중되어지고 있다. 유기 발광물질과 전극사이의 계면 상에서의 전하 주입 특성이 발광소자의 양자효율 및 구동전압에 가장 큰 영향을 줄 뿐만 아니라 수명에도 중요한 역할을 한다는 것이 알려져 있다[5]. 따라서 이러한 계면 특성을 향상시키기 위해서 새로운 전극을 개발하거나 전극과 유기물 사이에 전하 수송층이나 완충층을 삽입함으로써

1. 한라대학교 전기공학과

(강원도 원주시 흥업면 흥업리 산66)

a. Corresponding Author : ehlee@hit.halla.ac.kr

접수일자 : 2003. 8. 22

1차 심사 : 2003. 10. 1

2차 심사 : 2003. 11. 6

심사완료 : 2003. 11. 25

써 소자의 성능을 향상시키는 연구가 많이 진행되어져 왔다.

본 연구에서도 전극과 유기물 사이의 계면에 초점을 맞추어 전극의 표면처리와 계면에 완충층을 삽입하여 소자의 성능에 미치는 영향을 고찰하고자 한다. 또한 유기 발광소자의 효율개선을 위해 RF 플라즈마 중합장치를 이용하여 ITO전극의 표면처리와 새로운 Buffer층의 성막법을 제시하고자 한다.

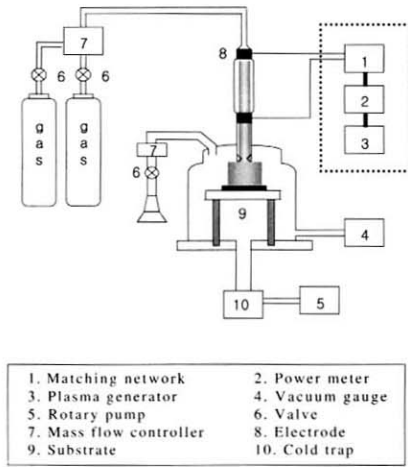


그림 1. 플라즈마 중합장치의 개략도.

Fig. 1. Schematic diagram of the plasma polymerization apparatus.

2. 실험

2.1 소자의 제작

소자의 제작은 먼 저항 $20\Omega/\square$ 의 ITO(삼성코닝)가 입혀진 유리 기판을 2.0[mm]의 줄패턴으로 포토공정을 이용하여 습식 에칭하였다. ITO가 입혀진 유리 기판을 증류수, 아세톤, 에탄올 순서로 각각 5분씩 초음파 세척하였고, 각 세척 과정 사이에 절소 방사 건조시켰으며, 세척한 ITO 기판은 진공오븐으로 이동하였다. 실험에 사용된 플라즈마 중합장치는 자체 제작한 것으로 플라즈마 표면처리를 고려하여 제작되었다. 장비의 전체적인 개념도와 실제 제작된 모양을 그림 1에 나타내었다. 플라즈마를 일으키기 위한 전원으로는 13.56[MHz]의 RF 플라즈마 발생기(RF Plasma Generator(AUTO

ELEC. ST-500, 600[W]))를 사용하였고, 임피던스 매칭을 위해서 매칭박스(Matching Box(Load Coupler LC-1000))를 설치하였으며, 방전부에 공급되는 전력을 측정하기 위해서 RF 방전전력계(RF Power Meter(Collins 30K-3))를 연결하였다. 진공의 검출은 진공게이지(Pirani Gauge(Model PG-1S 23593 Okano, 10^{-10} [torr]))를 사용하였다. 또한 미중합 모노머가 로터리 펌프를 훼손시키는 것과 요구되는 진공도를 확보하기 위해서 액체질소를 사용하는 콜드트랩(Cold Trap)을 설치하였다. ITO의 표면 처리는 100W O_2 플라즈마 (13.56[MHz])를 이용했으며 가스의 주입량은 10[scm]으로 고정하고 5분에서 20분간 처리하였으며, 완충층 제작에 사용한 Thiophene은 플라즈마 중합막을 형성할 수 있는 단량체로서 아르곤가스가 반응관내로 10[scm]의 주입량으로 유입되는 상태에서 Thiophene 모노머를 반응기 내로 유입하여 중합막을 형성하였다.

그림 2는 소자에 사용된 유기물의 분자구조 및 소자의 구조이다. 본 실험에서 제작한 발광 소자는 Type A-1, Type A-2, Type B, Type C의 구조로 제작하였다. Type A-1의 경우 정공전달층(Hole Transport Layer : HTL)으로 TPD를 사용하고 그 위에 발광물질인 Alq_3 를 입힌 이중 구조의 소자를 제작하였으며, Type A-2의 경우에는 양전극으로 사용된 ITO를 O_2 Plasma 처리를 하였고, Type B는 O_2 Plasma 처리한 ITO위에 Thiophene을 플라즈마 중합법을 이용하여 막을 입힌 뒤 TPD와 Alq_3 를 입힌 삼층 구조의 소자를 제작하였으며, Type C는 Type A-1소자에 LiF를 유기물과 음극 사이에 삽입하였다. 모든 소자의 상부 전극으로는 Al을 사용하여 전자(electron)들이 잘 유입되도록 전기 발광 소자를 제작하였다. ITO 기판 위에 유기물질과 금속을 진공 열증착(Vacuum Thermal Evaporation)방법을 이용하여 증착하였다. 모든 유기물과 금속 증착시의 진공도는 약 2.0×10^{-6} [torr]였고, 박막의 두께는 박막 두께 측정기(Film Thickness Monitor)를 이용하여 *in situ*로 측정되었으며, 막의 증착 속도 또한 이를 이용하여 조절하였다. 본 연구에서는 정공전달 물질로 잘 알려진 N,N'-diphenyl-N,N'-(3-methylphenyl)-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine(TPD)와 전자 전달 물질인 동시에 발광물질인 Tris(8-hydroxyquinolinato)Aluminum(Alq_3)를 사용하여 2[A/s]의 속도로 각각 40[nm], 50[nm] 두께로 증착하였고, 알루미늄 전극은 150[nm] 두께로 성막하였다. 발광면적은 $2 \times 2[mm^2]$ 의 크기로 하였다. 소자 제작방법을 그림 3에 나타내었다.

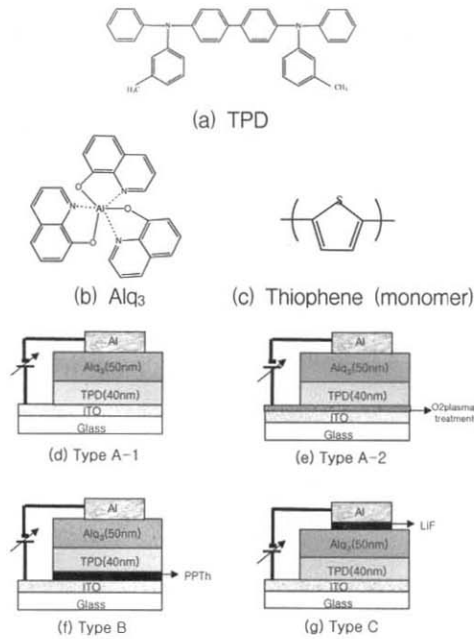


그림 2. 분자 및 소자구조.
Fig. 2. Molecular and device structure.

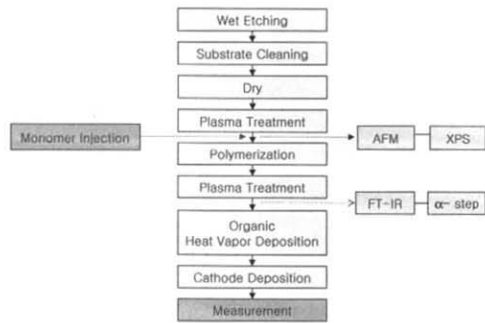


그림 3. 실험 순서도.
Fig. 3. Flow chart of experiment

2.2 전류-전압-휘도 측정

전류-전압-휘도 특성은 Source Measurement Unit(SMU : Keithly, Model 2400)와 휘도계(TOPCON, BM-8)를 사용하여 측정하였다. 측정시스템은 퍼스널 컴퓨터(PC)와 SMU를 GP-IB 인터페이스를 통해 전압을 인가하면서 전류를 측정하였으며, 동시에 휘도계를 RS-232C에 의해 PC와 연결하여 전류, 전압, 그리고 휘도를 측정하였다. 인가전압의 전압상승률은 0.3V/0.5sec이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 물성측정

원자력간 현미경(AFM)을 이용하여 기관 처리 시간의 변화에 따른 ITO기관의 미세 표면 상태의 조사를 위해 ITO기관의 표면 거칠기를 측정된 3차원 형상을 그림 4에 나타내었으며, AFM으로 분석한 기관의 면적은 $3 \times 3[\mu m^2]$ 이다.

그림 4에서 알 수 있듯이 O₂ 플라즈마를 처리하지 않은 ITO 표면은 거칠고 불균일한 상태를 나타내며 O₂ 플라즈마 처리시간이 증가함으로써 ITO의 표면은 균일해 지는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 5는 O₂ 플라즈마 처리시간의 따른 먼 거칠기의 AFM의 결과를 나타낸다. ITO 기관을 5분간 O₂ 플라즈마 처리함으로써 미처리한 것 보다 표면 거칠기가 21[nm]에서 17[nm]로 급격히 낮아졌으며 처리시간을 20분으로 증가하므로써 17[nm]에서 15[nm]로 변화하였다. 즉 처리시간이 증가함에 따라 표면 거칠기는 감소하는 경향을 나타낸다. 이러한 결과는 플라즈마 처리시 기관 표면에 자유라디칼을 증가시키고, 전자가 표면에 충돌하여 표면층에 대전됨으로써 정전상호작용에 의해 표면 거칠기가 낮게 나타나는 것으로 판단된다[6]. O₂ 플라즈마를 이용하여 ITO 표면 처리를 함으로써 표면 상태의 개선에 좋은 영향을 미치는 것으로 나타났다[7].

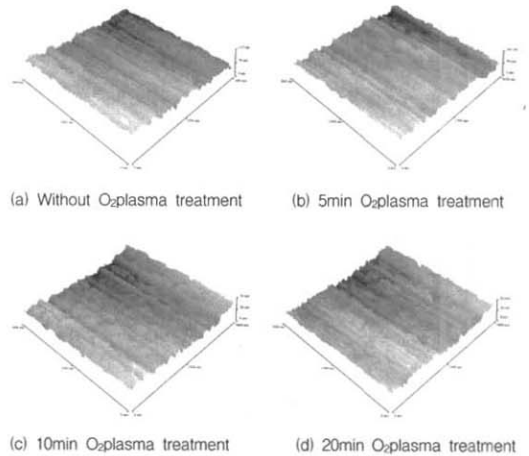


그림 4. O₂ plasma 처리시간에 대한 AFM 3차원 표면현상.
Fig. 4. AFM 3D image as a function of O₂ plasma treatment time.

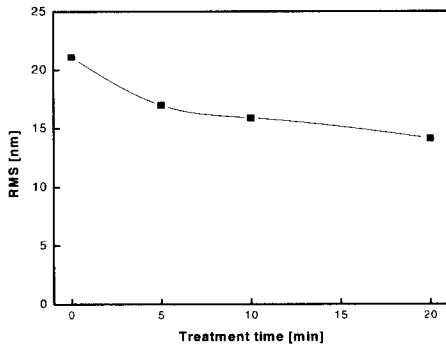


그림 5. O₂ plasma 처리시간에 대한 AFM의 표면 거칠기.

Fig. 5. Surface roughness estimated by AFM as a function of O₂ plasma treatment time.

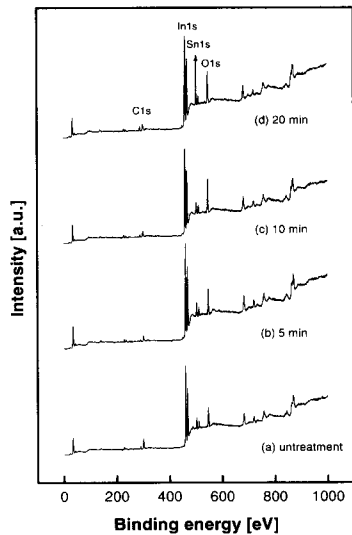


그림 6. O₂ plasma 처리시간에 대한 XPS의 ITO 전체피크.

Fig. 6. ITO whole peak by XPS as a function of O₂ plasma treatment time.

O₂ 플라즈마 표면 처리로 인한 시료 표면의 화학적 구조를 분석하기 위하여 X-선광전자 분광법(XPS) 측정을 수행하였다. 전술한 표면 상태에 따른 AFM 측정변화는 근본적으로 표면 구조의 변화로부터 기인된 것으로, XPS를 통한 수십 nm 이하의 극표면 화학구조의 분석을 통해 보다 정확한 표면처리 특성을 살펴보았다. XPS는 산소

1s(O1s), 탄소 1s(C1s), 인듐 1s(In1s), 주석 1s(Sn1s)의 광 이온화(photoionization)로부터 각각 531.0[eV], 248.5[eV], 459.3[eV] 그리고 504.0[eV]에서의 피크를 기준으로 관측하였다. 그림 6에서 보듯이 인듐과 주석의 피크변화는 거의 없음을 확인할 수 있었고, O₂ 플라즈마 처리시간을 증가함에 따라 산소 피크의 증가와 탄소피크의 감소가 확인해 짐을 알 수 있었다.

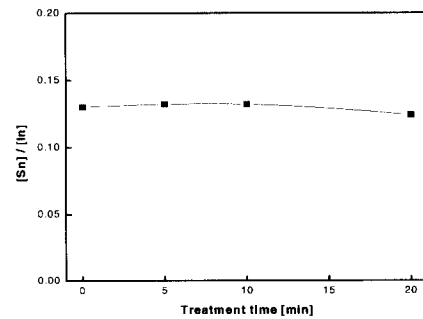
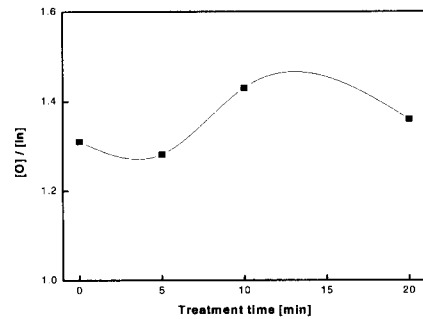
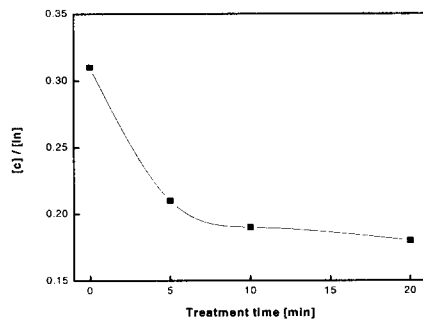


그림 7. O₂ plasma 처리시간에 대한 [X]/[In]의 비 (X=C, O, Sn).

Fig. 7. Rate of [X]/[In] by XPS by AFM as a function of O₂ plasma treatment time (X=C, O, Sn).

그림 7은 O₂ 플라즈마 처리 시간 따라 피크의 변화가 없으며 ITO의 성분 중 50% 이상을 차지하는 In을 기준피크로 하여 [X]/[In] 비를 세분하여 나타내었다. [C]/[In] 비는 짧은 처리시간에도 불구하고 확연히 감소함을 알 수 있었으며 탄소 오염물은 O₂ 플라즈마 처리에 의해 쉽게 떨어져 나감을 알 수 있었다. [Sn]/[In] 비는 O₂ 플라즈마 처리에 의한 변화가 거의 없었지만 O₂ 플라즈마 처리 시간이 20분이 되면서 약간의 감소가 있었는데 이것은 O₂ 플라즈마 표면 처리함으로써 10분까지는 식각이 되지 않다가 20분에서 약간의 식각이 되었다고 생각할 수 있다. ITO 표면 처리를 하지 않은 시료와 O₂ 플라즈마 5분간 처리한 시료의 [O]/[In]의 비는 큰 차이는 없었으나 좀 더 많은 시간동안 O₂ 플라즈마를 처리하였을 때 산소의 농도는 더욱 증가하게 되는데 이것은 산소 가스를 주입한 플라즈마 조사에 의해 ITO 표면이 산화되어 산소의 양이 많아 졌기 때문이라고 생각할 수 있다.

그림 8은 Monomer Thiophene과 플라즈마 중합 티오펜(PPTh)의 적외선 분광 스펙트라를 나타낸다. 문헌과 비교했을 때 PPTh의 FT-IR 분광 스펙트럼은 C-C 그리고 C-S 밴드가 나타나는 것 뿐만 아니라 C-O, S-O, 그리고 C-N 밴드가 포함된 것이 눈에 띈다. 3417과 1042[cm⁻¹]에서 hydroxyl 그룹이 나타낸다. 또 2957과 2861[cm⁻¹]에서 CH₃과 CH₂이 나타낸다. 2209와 2051[cm⁻¹]은 X, Y 그리고 Z에서 C,S,O 또는 N의 결합이 가능한 X=Y=Z가 나타낸다. 1674와 1625 cm⁻¹에서 X-C=O, carbonyl, carboxyl가 나타낸다. 1447[cm⁻¹]에서 CH-S가 나타나고 1254에서 1042[cm⁻¹] 사이에서 C-O 그리고 S-O가 나타나는 것을 알 수 있다[8].

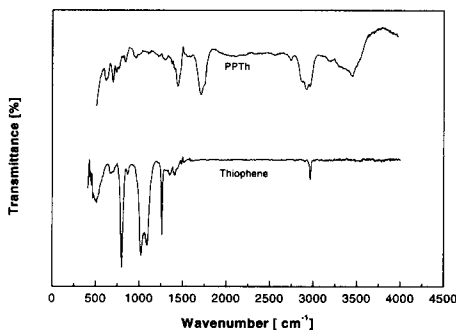


그림 8. Thiophene과 PPTh의 FT-IR 스펙트럼.
Fig. 8. FT-IR spectra of thiophene and PPTh.

이와 같이 문헌과 비교해 본 결과 Thiophene 단량체가 플라즈마에 의해 중합이 되었음을 알 수 있다. 그림 8에서 Thiophene과 PPTh의 FT-IR의 스펙트럼이 같지 않게 나타난다. PPTh의 FT-IR 스펙트라는 산소와 질소의 크기가 주목할 만큼 크게 나타난다. Thiophene 고리의 특징은 1000과 1100[cm⁻¹]에서 피크가 나타나지만 PPTh에서는 나타나지 않는다. 이러한 결과는 플라즈마의 강한 에너지 조사에 의해 단량체의 일부가 파괴되었거나 다른 원자와 결합하여 새로운 중합체로 형성되었기 때문이다.

3.2 전기적 특성 측정

3.2.1 ITO 표면처리에 의한 유기EL 소자 특성

ITO/TPD/Alq₃/Al (O₂ 플라즈마 미처리, 5분, 10분, 20분) 형태의 유기 EL소자에 대해 ITO 표면의 O₂ 플라즈마 처리시간에 따라 소자의 전기적 특성을 그림 9과 그림 10에 나타내었다. 비교를 위하여 ITO 표면을 미처리한 소자의 특성곡선도 같이 나타내었다. 그림 9의 전류-전압 특성곡선에서 알 수 있듯이 O₂ 플라즈마로 ITO 표면 처리를 하면 정공 주입이 원활해지고 따라서 구동 전압이 감소하게 된다. 이러한 효과는 O₂ 플라즈마를 10분 처리했을 때 현저하게 나타난다. 하지만 20분 처리시 오히려 감소하게 되는데 이는, 장시간 O₂ 플라즈마 조사시 표면의 식각 그리고 열화 때문으로 생각된다. 그림 10의 휘도-전류밀도 특성곡선의 경우 O₂ 플라즈마를 처리함에 따라 휘도가 증가하지만 최고 휘도는 10분간 O₂ 플라즈마로 ITO 표면을 처리했을 때 나타나며 20분에서는 감소하였다. 따라서 10분이 O₂ 플라즈마로 ITO 표면을 처리한 최적의 시간이라 할 수 있다.

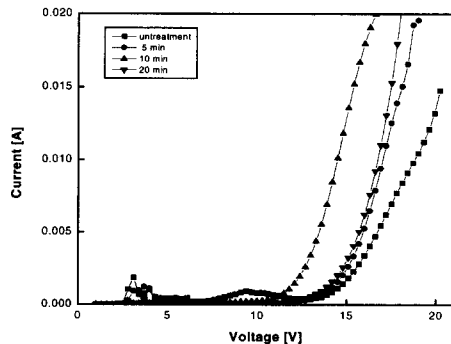


그림 9. 전류-전압 특성곡선.
Fig. 9. Current-voltage characteristics.

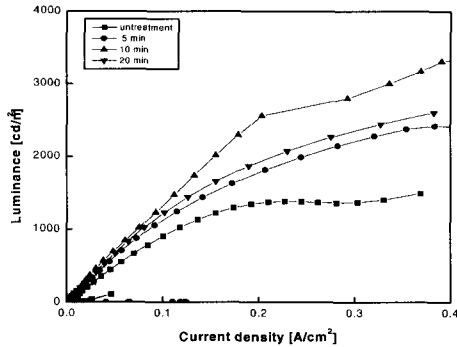


그림 10. 휘도-전류밀도 특성곡선.
 Fig. 10. Luminance-current density characteristics.

유기 발광소자의 경우 성능에 영향을 미치는 요인들은 대체로 일 함수, 계면 안정화, 및 형태구조 (Morphology) 등으로 알려져 있다. 먼저 O₂ 플라즈마로 ITO 표면 처리를 하면 일 함수가 처리 전 보다 1.0[eV]가량 높아져 발광 층으로의 정공 주입이 증가하게 된다[9]. 따라서 구동전압이 낮아지고, 결과적으로 소자의 양자 효율이 증가하게 된다. 다음으로 표면 형태 구조의 영향을 생각 할 수 있다. 유기 발광 소자에 있어서 이러한 전극이나 유기물의 표면 및 계면의 영향은 매우 중요하다. 그림 4에서와 같이 표면의 거칠기가 완화하여 발광 물질과의 계면에서의 표면적이 증가하고 정공의 주입이 향상되어지는 것이 본 연구에서 입증되었다.

3.2.2 PPTh를 삽입한 유기EL 소자 특성

ITO 전극과 유기물 사이에 삽입한 완충층은 유기 발광소자의 구동전압과 휘도를 향상시킨다. Van Slyke 등은 Copper Phthalocyanine (CuPc)를 ITO 전극과 유기물 사이에 삽입함으로써 유기 발광 소자가 매우 안정됨을 증명하였다. CuPc 층을 삽입하면 유기 발광 소자의 효율과 수명이 향상되지만 소자의 구동 전압이 증가하였다[10].

본 연구는 ITO 전극 위에 그림 8와 같이 Thiophene으로 플라즈마 중합막(PPTh)을 제조하여 유기 발광소자에 삽입하여 전류-전압, 휘도-전압을 그림 11, 그림 12에 나타내었다. 소자의 구조는 ITO/PPTh/TPD/Alq₃/Al 형태이다. 이 때 중합막의 두께는 2[nm]로 하였으며, 비교를 위하여 ITO 표면 처리 시 특성이 가장 우수한(O₂ 플라즈마를 10분 처리)소자의 특성곡선을 함께 나타내었다. 그림 11에서 보듯이 PPTh 막을 삽입함에 따라 소자

의 전류는 동일 전압에서 낮음을 볼 수 있다. 이는 Thiophene을 플라즈마 중합함에 의해서 절연성을 띤 절연막으로 변한 것으로 생각되어 진다[11]. 그림 12은 유기 발광 소자의 휘도-전압 특성곡선을 보여준다. PPTh의 두께가 2[nm]였을 때 구동전압이 1.0[V] 가량 감소하였고, 최고 휘도는 PPTh막을 삽입한 소자가 삽입하지 않은 소자의 최고 휘도 3400[cd/m²]보다 향상된 4600 [cd/m²]을 나타내었다. 이로써 PPTh 막을 삽입한 유기 발광 소자는 높은 휘도를 보였으며 구동전압 또한 PPTh막을 삽입함으로써 1.0[V] 낮출 수 있었다. 이러한 결과는 PPTh와 같이 절연성을 띤 막을 삽입함으로써 정공의 과잉공급을 조절하여 적정량의 정공이 자유전자와 재결합이 이루어져 휘도와 효율이 향상된 것으로 생각되어진다. 이것은 PPTh막이 정공을 발광지역으로 효과적으로 주입되도록 하는 효과가 있는 것을 의미한다.

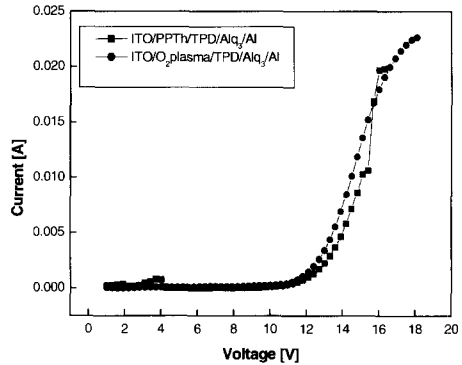


그림 11. 전류-전압 특성 곡선.
 Fig. 11. Current-voltage characteristics.

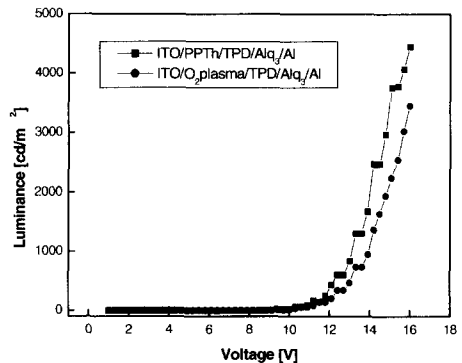


그림 12. 휘도-전압 특성 곡선.
 Fig. 12. Luminance-voltage characteristics.

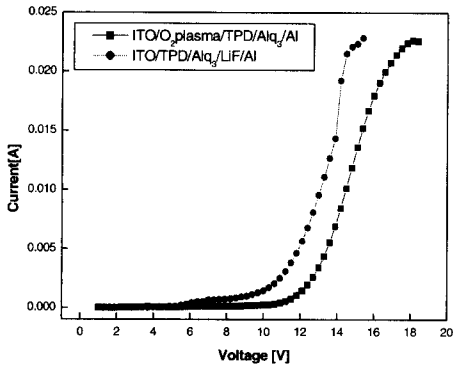


그림 13. 전류-전압 특성 곡선.
Fig. 13. Current-Voltage characteristics.

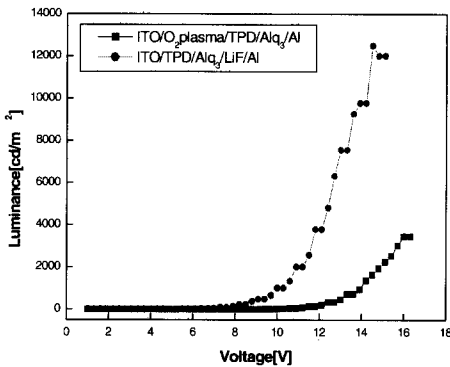


그림 14. 휘도-전압 특성 곡선.
Fig. 14. Luminance-Voltage characteristics.

3.2.2 LiF를 삽입한 유기EL 소자 특성

Alq₃와 음극(Al)전극사이에 전자 주입층으로써 LiF를 사용한 전계 발광 소자의 전류-전압, 휘도-전압 특성 곡선을 그림 13, 그림 14에 나타내었다. 소자의 구조는 ITO/TPD/Alq₃/LiF/Al 형태이다. 이 때 LiF의 두께는 1.0[nm]로 하였다. 비교를 위하여 에너지 장벽이 없는 소자, 즉 ITO 표면 처리 시 특성이 가장 우수한(O₂ 플라즈마를 10분 처리) 소자의 특성곡선을 함께 나타내었다. 유기물과 음극사이에 LiF를 삽입한 소자의 경우 구동전압이 약 4.0[V]가량 감소하였으며, 최고 휘도는 13000 cd/m²를 나타내었다. 이 모든 특성곡선이 에너지 장벽 소자가 우수함을 알 수 있다. LiF를 삽입하였을 경우 전자의 주입이 매우 향상되어 전류 또한 급격히 증가함을 알 수 있다. 발광 소자에서의 전

자 주입이 에너지 장벽, 즉 유기 발광층을 통한 터널링으로 이루어졌을 때 터널링에 의한 전류 밀도 J 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$J = \int V(E) T(E) [f_{Al}(E) - f_{Alq_3}(E)] dE \quad (1)$$

여기서 $V(E)$ 는 에너지 E 를 가진 전자의 속도, $T(E)$ 는 투과 확률 (Transmission probability), $f_{Al}(E)$ 와 $f_{Alq_3}(E)$ 는 각각 알루미늄과 Alq₃의 전자 분포 함수이다. 위의 소자들의 경우 투과 확률을 제외한 나머지 항들은 모두 동일하다. 알루미늄만을 사용할 경우 Alq₃ 전도띠 준위와의 에너지 장벽은 약 1.0[eV]이며 에너지 장벽을 사용하면 절연층에 의한 전압강하에 의한 에너지 장벽은 1.0[eV]보다 작아지게 된다. 따라서 에너지 장벽의 소자가 알루미늄만을 사용할 때 보다 전자 주입이 향상되어 휘도의 향상과 구동전압이 감소함을 본 실험으로 입증하였다.

4. 결론

본 연구에서는 유기 EL 소자의 개발에 있어서 핵심이 될 수 있는 금속/유기물의 계면에서의 에너지 변화에 의한 소자의 성능을 알아보기 위해 O₂ 플라즈마를 이용한 ITO 표면처리와 완충층을 이용한 유기 EL 소자 특성을 연구하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

4.1 플라즈마를 이용한 ITO 표면처리

- 1) 플라즈마 표면처리의 최적조건은 산소분위기에서 100[W], 10[SCCM], 0.1 [torr]하에서 처리시간은 10분이었다.
- 2) 플라즈마를 처리한 ITO는 표면 거칠기가 21[nm]에서 15[nm]로 변화하였고, 산소의 증가와 탄소의 감소가 눈에 띄게 나타났으며 처리시간이 증가하면서 주석의 양도 감소하였다.
- 3) 플라즈마로 ITO 표면처리를 하면 정공 주입이 원활해지고 따라서 구동전압이 감소하였으며, 휘도 또한 상승하였다.

4.2 완충층을 이용한 소자 특성

- 1) 플라즈마 중합법을 이용한 완충층을 삽입한 소자의 경우 Thiophene를 플라즈마 중합합(PPTH)에 따라 막의 두께가 2[nm]에서 절연성

을 띤 절연막으로 변하여 동일 전압에서 소자의 전류는 낮았지만 구동전압이 1.0[V] 가량 감소하였고, 최고 휘도는 4600[cd/m²]를 나타내어 삽입하지 않은 3400[cd/m²]보다 향상되었다. 2) 유기물과 음극사이에 LiF를 삽입한 소자의 경우는 LiF가 1.0[nm]에서 구동전압이 약 4.0[V]가량 감소하였으며, 최고 휘도는 13000 [cd/m²]를 나타내었다.

참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diode", Appl. Phys. Lett., Vol. 51, p. 913, 1987.
- [2] C. W. Tang, S. A. VanSlyke, and C. H. Chen "Electroluminescence of doped organic thin films", J. Appl. Phys., Vol. 65, p. 3610, 1989.
- [3] 이덕출, 김형권, "디시아노메틸렌과 스쿠아리리움 색소 도핑 유기 LED의 전기 발광 기구 및 특성", 전기전자재료학회논문지, 12권, 10호, p. 909, 1999.
- [4] 박상무, 이봉주, 김형권, 임경범, 김종택, 박수홍, 임응춘, 이은학 이덕출, "버퍼층으로서 플라즈마 polythiophene이 유기EL소자에 미치는 영향", 한국전기전자재료학회, 2002춘계학술대회 논문집, p. 177, 2002.
- [5] J. R. Sheats, H. Antonidis, and M. Hsueh, "Organic electroluminescent devices", Science, Vol. 273, p. 884, 1996.
- [6] 이덕출, 임경범, 이백수, "플라즈마 표면처리에 따른 에폭시 복합재료의 표면특성", 전기전자재료학회지, 14권, 10호, p. 821, 2001.
- [7] 이덕출, 박상무, 김형권, "O₂ 플라즈마 처리에 의한 ITO 표면개질 변화에 따른 유기 EL 소자 특성", 대한전기학회, Vol. 52C, No. 6, p. 261, 2003.
- [8] M. S. Silverstein and I. Visoly-Fisher, "Plasma polymerized thiophene: molecular structure and electrical properties", Polymer, Vol. 43, p. 1165, 2002.
- [9] M. Ishii, T. Mori, H. Fujikawa, S. Tokito, and Y. Taga, "Improvement of organic electroluminescent device performance by in situ plasma treatment of indium-tin-oxide surface" J. Luminescence, Vol. 87-89, p. 1165, 2000.
- [10] S. A. Van Slyke, C. H. Chen, and C. W. Tang, "Organic electroluminescent devices with improved stability", Appl. Phys. Lett., Vol. 69, No 15, p. 2160, 1996.
- [11] L. S. Hung, L. R. Zheng, and M. G. Mason, "Anode modification in organic light-emitting diodes by low-frequency plasma polymerization of CHF₃", Appl. Phys. Lett., Vol. 78, No. 5, p. 673, 2001.