

산소 플라즈마 처리에 따른 OLED의 광학 및 전기적 특성

이선일, 성용호, 이대천, 이상목, 송보영, 한현석, 홍진웅
광운대

Optical and Electrical Properties of OLED Depending on O₂ Plasma Treatment

Sun-Il Lee, Yong-Ho Sung, Dae-Cheon Lee, Sang-Mok Lee, Bo-Young Song, Hyeon-Seok Han, Jin-Woong Hong
Kwangwoon University

Abstract - The O₂ plasma treatment is used as improvement of ITO roughness glass for organic light-emitting diodes and organic photovoltaic cells. This study examined the effect of the electrical properties of OLED according to variation of O₂ plasma power. In experiment, we found that the electrical characteristics of device are excellent when the power of O₂ plasma is 250 W. And when the power of O₂ plasma increases over 250 W, the electrical properties were getting worse. O₂ plasma treatment not only prevents the diffusion of indium, a metal constituent, to an organic layer but also plays a significant role as improvement of ITO roughness. By considering organic light-emitting diodes treating O₂ plasma, it could contribute to the improvement of the efficiency of the device.

였다. 그리고 마지막으로 이소프로필 알코올(Isopropyl alcohol)과 1차 증류수에서 각각 약 20 min 정도 초음파 세척을 한 후, 질소 가스로 건조시켰다. 모든 과정이 끝난 후 ITO 소자에 유기물을 증착하여 소자를 제작한다. 증착 방법은 전류를 조절하여 진공 열 증착법을 이용한 후 5×10⁻⁶ Torr 정도의 진공도에서 유기물질인 TPD를 2.5 Å/s 증착속도로 두께 40 nm, Alq₃는 2.5 Å/s 증착속도로 두께 60 nm, LiF는 0.1 Å/s 속도로 두께를 변화시켜 증착하였다. Al 음전극도 5×10⁻⁶ Torr 정도의 진공도에서 텅스텐 보트를 이용하여 초기에는 낮은 증착 속도로 증착하고, 그 이후 15 Å/s 이하로 가급적으로 빠르게 두께 100 nm를 연속적으로 증착하였다. 또한, 발광 면적은 마스크를 이용하여 3×5 mm²의 크기로 제작하였다. 소자의 제작을 완료한 후에 산소 플라즈마 처리 장치를 사용하여 250 W, 40초간 플라즈마 처리하였다. 그리고 측정 장비는 소자의 전기적 특성을 확인하기 위하여 Keithley 2000 multimeter, 6517 electrometer, Si-photodiode를 사용하여 측정하였다. 모든 기기의 제어 프로그램은 Lab-view 소프트웨어를 이용하여 시료의 특성을 측정하였다.

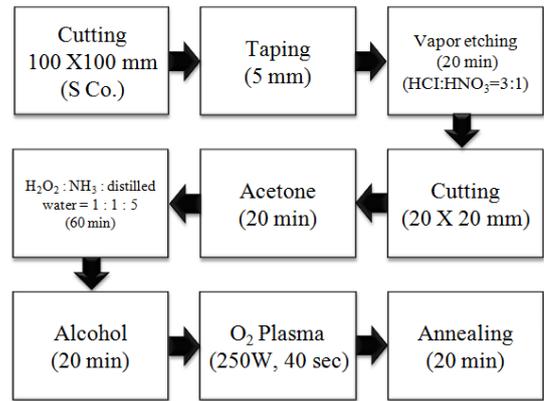
1. 서 론

현재까지 막의 비저항이 가장 낮고, 가시광선의 투과율이 높으며, 습식 에칭이 편리한 ITO가 OLED의 양극으로 가장 널리 사용되고 있다. ITO는 전기적 특성 및 에칭 특성이 우수하고 광투과도, 경제성 우수한 장점으로 지금까지 개발된 재료 중에서 가장 많이 사용되고 있다. ITO는 투명 전극으로 많이 사용되고 있지만 여러 문제점이 지적되고 있다. 특히 OLED 및 광전 소자에서 바이어스 인가 및 광 전력 인가 시 투명전극과 유기물 계면에서의 계면 특성에 대단히 큰 영향을 미친다는 것이 보고되고 있다. 이런 문제점들을 해결하기 위해 우리는 계면의 특성을 개선하기 위해 금속과 유기물 계면, 즉 ITO와 정공 수송 물질 사이의 계면에서의 정공 주입을 위한 에너지 장벽을 낮추는 연구를 계속 해왔다. 효과적인 정공 주입으로 소자 구동 및 발광 효율의 향상은 매우 중요한 연구이다. ITO의 표면처리는 일함수의 제어와 함께 표면 거칠기를 줄이기 위해서 조사되어 지며 큰 일함수를 가지는 ITO는 유기물과 계면을 이룰 때 정공 주입을 위한 에너지 장벽이 낮아지게 되며 낮은 표면 거칠기를 가지는 ITO는 정공의 일정한 단면을 통한 주입을 유도한다. 계면의 특성을 개선 시키는 방법은 여러 가지가 있다. 그 중 산소 플라즈마 처리는 ITO와 유기물 사이의 계면 특성 개질에 높은 효과를 보이고 있다는 보고가 있다. 따라서 본 연구에서는 산소 플라즈마 처리에 따른 전도 메커니즘을 사용하였다. 그리고 기본 소자와 산소 플라즈마 처리된 소자를 비교하여 결과를 확인한 후, ITO 표면 처리에 따른 최적의 조건에서의 산소 플라즈마가 처리 조건과 기본 소자와 산소 플라즈마 처리된 소자를 비교하고 산소 플라즈마의 전력 변화에 따른 OLED의 전기적 특성에 미치는 영향을 소개한다.

2. 본 론

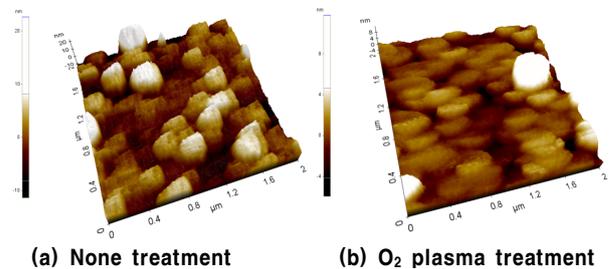
2.1 실험

본 실험에서 양(+) 전극으로는 S.C.co(Korea)의 약 8 Ω/□의 표면 저항과 170 nm 두께를 갖는 Indium-Tin-Oxide(ITO) 기판을 사용하였다. ITO 기판을 100×100 mm²로 절단하여 폭 5 mm의 양(+) 전극으로 사용할 부분을 Taping한 후 나머지 부분을 염산(HCl) : 질산(HNO₃)을 3:1의 부피비로 섞은 용액의 증기에 약 10 ~ 20 min 정도 노출시켜 식각하였다. 이 후, 다시 패턴이 형성된 ITO 기판을 20×20 mm² 크기로 절단한 후 세척 과정을 거쳤다. 세척 과정으로는 먼저 아세톤이나 클로로포름으로 50 °C에서 약 20 min 정도 초음파세척하고, 다음 단계에 과산화수소(hydrogen peroxide) : 암모니아(ammonia): 2차 증류수(de-ionized water)를 부피 비 1:1:5의 비율로 섞은 용액 속에 기판을 넣고 약 80 °C 에서 1 h정도 가열하여 초음파 세척하였고, 다시 아세톤이나 클로로포름에 기판을 넣고 50 °C에서 약 20 min간 초음파 세척을 하



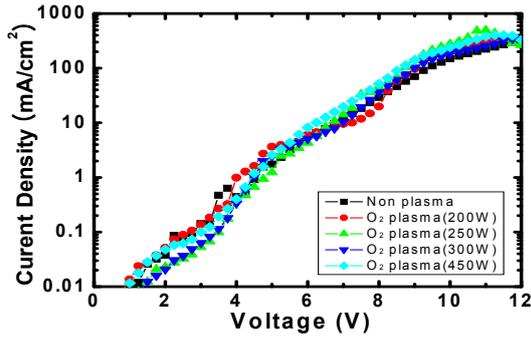
<그림 1> OLED의 제작 과정

2.2 결과 및 고찰

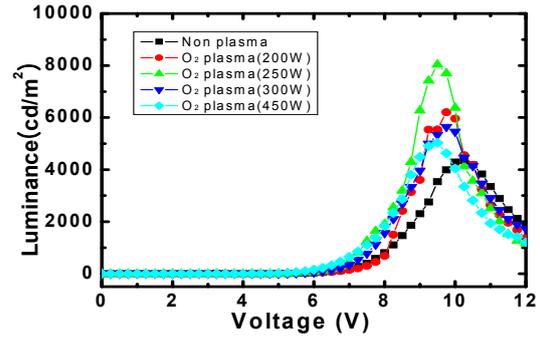


<그림 2> ITO 소자의 표면 특성

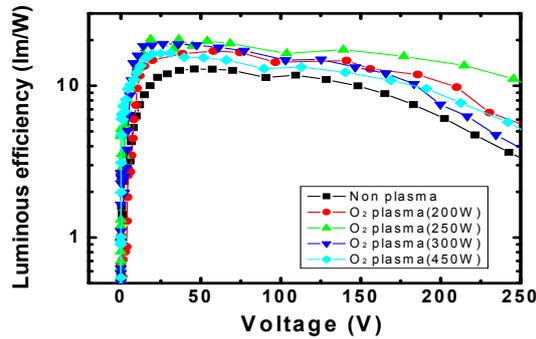
본 실험에서 유기 박막의 표면 특성(morphology) 측정은 물리적인 접촉으로 인하여 박막이 영향을 받을 수 있으므로 비접촉식 방법으로 하였다. 유기 전계 발광 소자의 경우 약 10⁶ V/m이상의 전계가 발생할 수 있으며 박막의 표면 특성이 소자에 많은 영향을 주고 있다. 전계의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 표면 특성이 좋을수록 전계의 집중에 의한 박막의 파괴를 줄일 수 있다. 그러므로 표면의 거칠기(roughness)



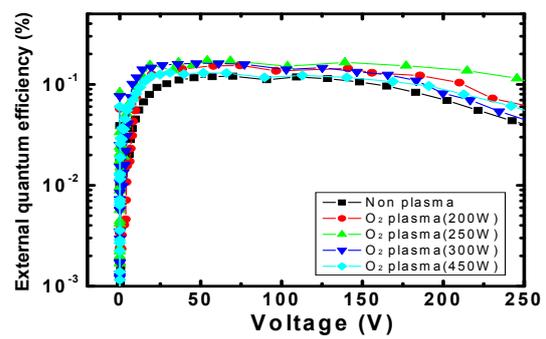
(a) 산소 플라즈마 처리에 따른 전류밀도 특성



(b) 산소 플라즈마 처리에 따른 휘도 특성



(c) 산소 플라즈마 처리에 따른 발광 효율 특성



(d) 산소 플라즈마 처리에 따른 외부 양자 효율 특성

〈그림 3〉 산소 플라즈마 처리에 따른 OLED 소자의 전기적 특성

가 적은 표면에 박막을 형성하는 것이 중요하다. 그림 2는 각각의 산소 플라즈마에 따른 ITO 표면의 AFM 사진들을 나타낸 것이다. 산소 플라즈마 처리를 통해 평균 거칠기가 가장 평탄해 지는 것을 확인하였다.

그림 3(a)와 (b)는 ITO에 산소 플라즈마 처리를 하였을 때 플라즈마 처리 강도에 따른 OLED의 전류 밀도 및 휘도 특성을 나타낸 그림으로 OLED의 산소 플라즈마 처리되지 않은 소자보다 처리된 소자의 동작 개시 전압이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 전압에 따른 전류 밀도는 동시에 측정이 가능하며, 전류 밀도를 측정했던 동일 전압에서 각각의 발광 휘도를 얻었다. 그리고 플라즈마 처리된 소자가 처리되지 않은 소자보다 발광 휘도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 이처럼 발광 휘도가 높아지는 것은 산소 플라즈마 처리를 하게 되면 ITO의 거칠기가 줄어들고 계면 특성이 개선되며, 정공 주입층의 에너지 장벽을 낮추어 전자 주입을 용이하게 하고 정공의 이동을 blocking하므로 낮은 전압에서도 정공과 전자의 재결합을 향상시키기 때문으로 사료된다. 특히 산소 플라즈마의 출력이 높아질수록 발광 개시 전압은 더 낮아지면서 최대 발광 휘도(L_{max})는 상승하였다. 그리고 250 W로 플라즈마 처리한 소자에서 약 1.85배의 최대 발광 휘도를 얻었지만, 두께가 300 W 이상으로 처리하게 되면 ITO와 정공 주입층 사이의 계면 개선에 많은 영향을 미치지 않으며, 인가 전계를 낮아져 원활한 정공의 주입 확률을 낮추기 때문에 휘도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 3(c)와 (d)는 ITO에 산소 플라즈마 처리를 하였을 때 플라즈마 처리 강도에 따른 OLED의 외부 양자 효율 특성과 발광 효율 특성을 나타낸 그림으로 전류밀도가 낮은 부분에서 양자 효율과 발광 효율이 가파르게 상승하다가 어느 수준의 도달하게 되면 증가 폭이 완만해지는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 평균적으로 산소 플라즈마 처리된 소자들이 처리되지 않은 소자보다 효율은 높았으며 250 W에서 최대 발광 효율은 1.56배 최대 외부 양자 효율은 1.43배 향상함을 확인할 수 있었다. 또한 산소 플라즈마 출력이 300 W 이상으로 증가할수록 발광 효율과 외부 양자 효율은 감소하였다. 그리고 플라즈마 처리된 소자가 처리되지 않은 소자보다 높은 평균 발광 효율(η_{max})과 외부 양자 효율(η_{ext})을 250 mA/cm² 부근까지 일정하게 유지하였다. 따라서 산소 플라즈마 250 W에서 가장 우수한 전기적 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

산소 플라즈마 처리를 하게 되면 ITO의 거칠기가 줄어들고 계면 특성이 개선되며, 정공 주입층의 에너지 장벽을 낮추어 전자 주입을 용이하게 하고 정공의 이동을 blocking하므로 낮은 전압에서도 정공과 전자의 재결합을 향상시키기 때문으로 사료된다. 따라서 3층 구조에서 산소 플라즈마 처리에 따른 OLED의 전기적, 광학적 특성을 조사한 결과, 최적의 처리 강도는 250 W임을 확인할 수 있었다. 평균적으로 산소 플라즈마 처리된 소자들이 처리되지 않은 소자보다 효율은 높았으며 250 W에서 최대 발광 효율은 1.56배 최대 외부 양자 효율은 1.43배 향상함을 확인할 수 있었다. 또한 산소 플라즈마 출력이 300 W 이상으로 증가할수록 발광 효율과 외부 양자 효율은 감소함을 확인하였다.

[감 사 의 글]

본 결과물은 KWIX(Kwangwoon IT Exhibition)의 지원으로 수행한 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] H. M. Choi, W. J. Kim, J. Y. Lee, T. W. Kim, and J. W. Hong, "Temperature-dependent Dielectric Properties in ITO/AF/Al Device", J. Kor. Phys. Soc., Vol. 57, p. 1619, 2010
- [2] C. Adachi, T. Tsutsui, S. Saito, "Organic electroluminescent device having a hole conductor as an emitting layer", Appl. Phys. Lett., 55(15), 1489-1491, 1989.
- [3] K. Furukawa, Y. Terasaka, H. Ueda, M. Matsumura, "Effect of a plasma treatment of ITO on the performance of organic electroluminescent devices", Synthetic Metals, Vol. 91, pp. 99-101, 1997