

주입층이 OLED 소자의 효율에 미치는 영향

이정구, 임기조

한국과학기술정보연구원, 충북대학교

The Influence of Injection Layers on Efficiency of Organic Light-Emitting Diodes

Lee, jeong-gu, Lim, kee-joe

Korea institute of Science and Technology Information, Chungbuk National University

요약 - 고 효율의 유기 발광 소자 개발을 위해 무엇보다 발광 소자의 각종의 에너지 대 구조를 고려한 구조 개선과 새로운 유기물질 합성을 통해 구동전압을 낮춤으로써 전력효율을 높이고, 소모 전력을 낮추며, 수명을 증가시킬 수 있어, 많은 연구자들이 유기 발광 소자의 효율을 향상시키기 위해 다양한 노력들을 시도하고 있다. 본 연구에서는 고 효율화를 위한 방법으로 유기 발광 소자에 있어서 전자주입에 필요한 전압을 낮추고 전자 주입을 촉진시키기 위하여 발광물질의 LUMO(Lowest Unoccupied Molecular Orbital) 준위와 음극 금속의 페르미 준위를 고려하여 전자 주입시 전위 장벽을 낮출 수 있는 에너지 대 구조를 가진 전자 주입 층을 검토하였고, 정공 주입을 촉진시키기 위하여 양극 금속의 페르미 에너지 준위와 발광 층의 HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital) 준위를 고려하여 정공 주입시 전위장벽을 낮출 수 있는 적절한 에너지 대 구조를 가진 정공 주입 층에 대하여 고찰하였다.

1. 서 론

유기 발광 소자의 장점으로는 저전력 구동, 자체발광, 넓은 시야각, 우수한 고해상도, 풀 컬러, 높은 재현성, 빠른 응답속도, 간편한 제조 공정 등의 장점을 가지고 있다. 유기 발광 소자는 계속 발전해 가고 있지만 상용화에는 부족한 부분이 있으며, 유기 발광 소자의 문제점은 인가전압이 높아질수록 색 좌표의 이동이 생긴다는 것과 시간이 지남에 따라 각각의 색에서 휘도와 효율이 변하여 발광색의 균형이 무너진다는 것이다. 그러므로 인가전압의 변화와 시간의 경과에 따라 안정된 동작을 할 수 있는 고 효율 유기 발광 소자의 개발이 중요하다. 이를 위해 본 연구에서는 유기 발광 소자의 효율을 향상시킬 목적으로 ITO/NPB/AlO₃/LiF/Al의 구조와 ITO/CuPc/NPB/AlO₃/Al의 구조를 가지는 녹색 유기 발광 소자를 제작하고 그 전기적 및 광학적인 특성을 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험 재료

본 실험에 사용한 ITO glass의 경우 20 Ω/□의 면저항을 기관으로 사용하였다. short-circuit가 형성되는 것을 방지하기 위해 ITO를 식각하였고, ITO기관의 예칭 방법은 36.3 %의 염산과 63 %의 질산과 물을 정해진 비율로 비이커에 담아 핫플레이트에서 가열해 60 °C가 되면 테이핑된 시편을 넣어 1분간 예칭 하였다. 시편을 꺼내어 테이프를 벗긴 후 기관을 초음파 세척기로 세척하였다. 기관의 세척은 유기 발광 소자를 제작하기 위한 기본 공정으로 이물질 및 흡집이 남지 않도록 세심한 주의가 필요하다. 세척에 사용되는 용매는 아세톤(acetone), 메탄올(methy alcohol)이며, 이 순서대로 초음파 세척기를 이용하여 각 10분씩 세척을 하였다. 다음 용매로 넘어가는 중간 과정마다 3차 증류수로 5분간 세척하여 기관에 남아있는 용매나 이물질을 최대한 제거하였다.

준비된 기관 위에 증착시킬 유기 물질로써 전자 주입에 따른 소자의 특성분석을 위하여 전자 주입층으로 LiF, 정공 수송층으로 NPB를 사용하였고, 발광층으로 Alq₃를, 음극으로 Al를 사용하였다. 또한 정공주입에 따른 소자의 특성평가를 위하여 정공 주입층 물질로 CuPc를, 정공 수송층 물질로 NPB를 사용하였으며, 발광층 물질로 Alq₃를 사용하여 소자의 시편을 제작하였다. 그림 1은 실험에 이용된 유기 화합물이다.

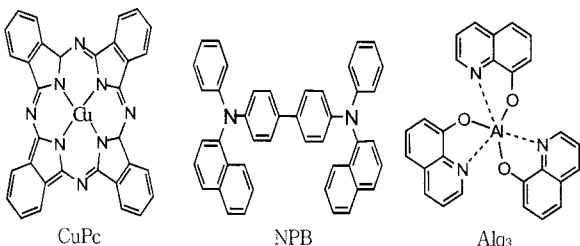


그림 1. 실험에 이용된 유기 화합물

2.2 EL 소자 제작

본 실험을 위해서는 진공 열 증착 방법을 사용하여 소자를 제작하였고, 증착시 진공도는 2×10⁻⁶ Torr~5×10⁻⁶ Torr의 조건이 되었을 때 전류를 흘려주어 가열에 의해 기관에 박막을 형성하였다. 이때 유기물의 경우 2~4 Å/s, 음극으로 사용한 Al은 4~10 Å/s로 유기물과 동일한 진공범위에서 200 nm의 두께로 증착하였으며, 소자의 발광면적은 1×1 cm²이다. 박막 두께나 증착 속도는 Thickness Monitor를 이용하여 측정하였다.

전자주입층 LiF 두께 변화에 따른 소자의 특성 측정을 위해 ITO/NPB(40nm)/Alq₃(40nm)/Al(200nm), ITO/NPB(40nm)/Alq₃(40nm)/LiF(0.5nm)/Al(200nm), ITO/NPB(40nm)/Alq₃(40nm)/LiF(1.0nm)/Al(200nm), ITO/NPB(40nm)/Alq₃(40nm)/LiF(1.5nm)/Al(200nm)과 같이 4가지 조건을 갖는 시편을 제작하였고, 또한 정공주입에 따른 소자의 특성평가를 위해 ITO/NPB(40nm)/Alq₃(40nm)/Al(200nm), ITO/CuPc(5.0nm)/NPB(40nm)/Alq₃(40nm)/Al(200nm), ITO/CuPc(15nm)/NPB(40nm)/Alq₃(40nm)/Al(200nm)과 같이 4가지 조건을 갖는 유기 발광 소자의 시편을 다층구조로 제작하여 이에 따른 전기적 및 광학적 특성을 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 전자주입층 LiF 두께 변화에 따른 유기 발광 소자의 특성

그림 2는 LiF 두께 변화에 따른 전류밀도와 전압 특성을 보여준다. 측정 결과 전자 주입층으로 사용된 LiF 두께에 따라 전류밀도-인가전압의 측정값 차이가 많이 나타남을 알 수 있다. LiF층이 없는 Al인 경우에 비해 LiF층이 삽입된 경우 전자 주입이 향상되어 동일 구동전압에서 전류밀도가 증가하다가 LiF층의 두께가 두꺼워 질수록 전류 밀도는 오히려 감소되는 경향을 보이고 있다. 이는 적당한 두께의 LiF는 전자 주입기능을 향상시키지만 그 이상의 두께에서는 터널링 현상에서 알 수 있듯이 전위 장벽의 폭이 클수록 전자의 투과율이 감소하기 때문이다.

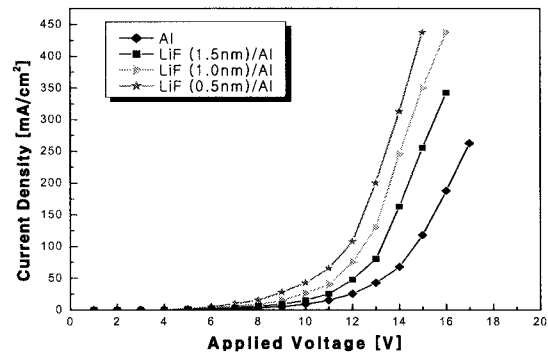


그림 2. LiF 두께에 따른 소자의 전압-전류밀도 특성

따라서 LiF층의 적절한 두께 선정이 필요하며, 실험 측정 결과 0.5 nm에서 가장 이상적인 터널링 현상이 일어남을 관측할 수 있었다. 또한 LiF가 버퍼층으로 작용한 Al/LiF/Alq₃ 구조가 버퍼층이 없는 Al/Alq₃ 구조 보다 전기적 특성이 개선됨을 알 수 있었다.

그림 3은 LiF 두께 변화에 따른 인가전압에 대한 소자의 휘도 특성을 나타낸 것이다. 인가전압에 대한 소자의 특성은 전자 주입층 LiF(0.5nm)/Al 구조에서 가장 좋게 나타났다. 또한 전류-발광 특성은 온도 의존도가 거의 없지만, 전류-전압 특성은 온도가 낮아지면 높은 전압 쪽으로 이동해 간다. LiF를 전자 주입 층으로 사용하면 음극과 유기 층에 합금을 사용하지 않고 안정한 Al 전극을 사용할 수 있어 저전압 구동특성과 개선된 휘도 특성을 가진 소자를 쉽게 재현할 수 있다.

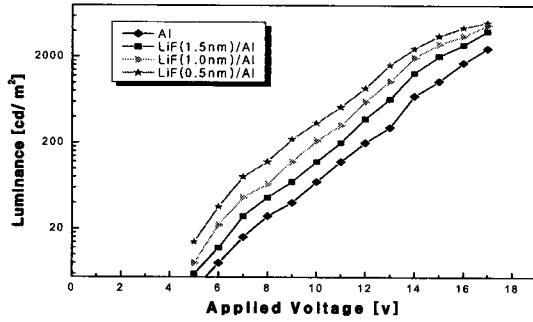


그림 3. LiF 두께에 따른 소자의 휘도특성

그림 4는 LiF 두께 변화에 따른 인가전압에 대한 소자의 단위 전력당 효율 특성을 나타낸 것이다. 전자 주입 층으로 LiF를 0.5 nm의 두께로 적층한 소자의 13 V 인가전압에서 2.51 lm/W로 가장 높은 효율을 보였으며 단일 금속의 Al 만을 음극으로 사용한 소자가 효율 특성이 가장 낮게 나타났다. 전자 주입 층으로 LiF를 1.0 nm와 1.5 nm로 적층한 소자는 전자 주입 기능 외에 약간의 절연특성을 나타내어 전자의 주입이 줄어들어 효율이 조금씩 낮아졌다. 따라서 적절한 두께의 LiF를 전자 주입 층으로 적층하면, 전자 주입기능을 증가시켜 인가전압에 대한 소자의 효율을 높일 수가 있다. 이것은 전자 주입 층으로 삽입된 LiF 층이 전자 주입을 위한 전위 장벽 높이를 제한하여 계면에서의 캐리어 주입이 용이하게 되었기 때문이다.

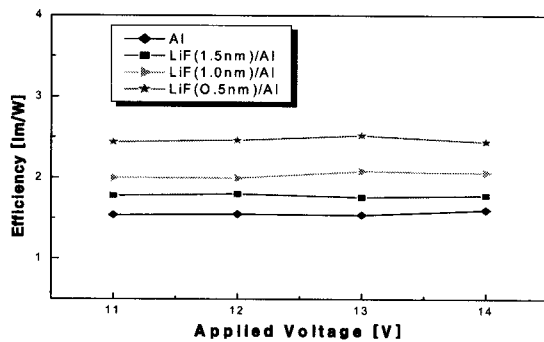


그림 4. LiF 두께에 따른 소자의 효율특성

3.2 정공주입층 CuPc 두께 변화에 따른 유기 발광 소자의 특성

그림 5는 정공 주입층 CuPc 두께 변화에 따른 인가전압에 대한 소자의 전류밀도 변화를 나타낸 것이다.

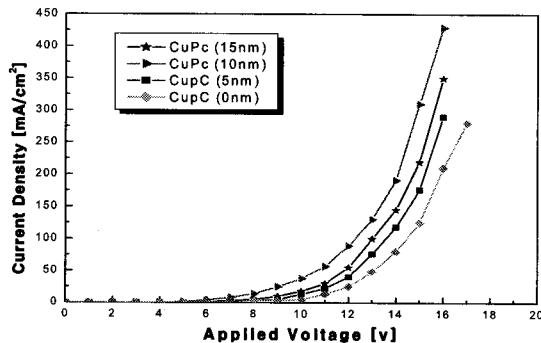


그림 5. CuPc 두께에 따른 소자의 전압-전류밀도 특성

정공 주입 층으로 사용한 CuPc를 10 nm의 두께로 적층한 소자에서 인가전압에 대한 전류밀도 특성이 가장 좋은 것으로 나타난 반면, CuPc를 15 nm의 두께로 적층한 소자에서는 전류밀도가 10 nm의 두께로 적층한 소자보다 낮게 나타났다. 이것은 적절한 두께 이상의 CuPc는 정공 주입을 하는데 도움을 주지만, 그 이상일 때는 약간의 버퍼층으로 작용해서 정공의 주입을 방해하는 역할을 하게 된 것이 확인되었다.

그림 6는 정공 주입층 CuPc 두께 변화에 따른 인가전압에 대한 소자의 휘도 특성을 나타낸 것이다. 실험 측정 결과 정공 주입 층으로 사용한 CuPc를 10 nm의 두께로 적층한 소자에서 인가전압에 대한 휘도 특성이 가장 좋게 나타난 반면, Al 만을 음극으로 사용한 소자에서는 인가전압에 따른 휘도 특성이 가장 낮게 나타났다. 또한 정공 주입층으로 사용한 CuPc를 15 nm의 두께로 적층한 소자는 정공 주입기능 외에 약간의 버퍼층 역할 때문에 인가전압에 따른 휘도 특성이 10 nm의 두께로 적층한 소자보다 낮

게 나타났다.

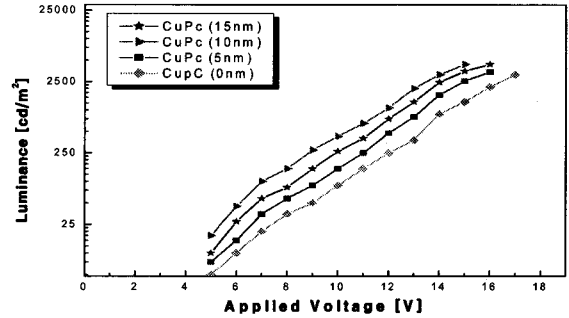


그림 6. CuPc 두께에 따른 소자의 휘도특성

그림 7은 정공 주입층 CuPc 두께 변화에 따른 인가전압에 대한 소자의 효율 특성을 나타낸 것이다. 실험 측정 결과 정공 주입층으로 사용한 CuPc를 10 nm의 두께로 적층한 소자에서 11 V일 때 2.8 lm/W로 효율이 가장 높게 나타난 반면, 양극으로 ITO만 사용한 소자 CuPc(0 nm)에서는 정공 주입 층인 CuPc를 사용한 소자들보다도 효율 특성이 떨어졌을 알 수 있다. 그리고 CuPc를 15 nm를 적층한 소자에서는 효율 특성이 10 nm의 두께로 적층한 소자보다 낮게 나타났다. 이것은 위에서도 언급한 바와 같이 정공 주입 기능 외에 약간의 buffer layer 역할을 했기 때문이다. 따라서 적절한 두께의 정공 주입 층을 사용하면 소자의 효율 향상이 가능하게 된다.

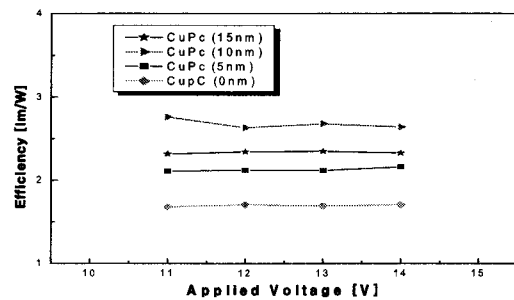


그림 7. CuPc 두께에 따른 소자의 효율특성

4. 결 론

효율을 높이고자 전자 주입 층과 정공 주입 층을 삽입시켰으며 녹색 유기 발광 소자를 제작하여 전기적 광학적 특성을 측정하고 평가하였다.

음극 물질로 우수한 성능을 발휘한 LiF를 전자 주입 층으로 사용하였으며, 동일 구동전압에서 전자 주입 층으로 LiF를 0.5 nm 적층한 소자가 1.0 nm, 1.5 nm의 LiF를 사용한 경우와 단일 금속 Al만을 사용해서 제작한 소자와 비교해서 휘도와 전류-전압, 효율의 특성이 가장 좋았다. 그러나 LiF를 1.0 nm와 1.5 nm 두께로 적층을 했을 경우 본래의 전자 주입 기능 외에 약간의 절연특성이 작용하기 때문에 휘도와 전류-전압, 효율 특성이 떨어졌다. 따라서 적절한 LiF의 두께로 박막을 적층하면, 소자에 전자 주입기능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

또한 동일 구동전압에서 정공 주입 층으로 CuPc를 10 nm로 적층한 소자의 전류 밀도가 5 nm 와 15 nm로 적층했을 경우와 단일 금속인 Al만을 사용했을 때 보다 휘도, 전류-전압특성, 효율 특성이 개선되었다. 정공 주입 층으로 CuPc를 사용해서 15 nm 두께로 적층한 소자에서는 정공 주입 기능 외에 약간의 버퍼층 기능을 했기 때문에 10 nm의 두께로 CuPc를 적층했을 때보다 휘도와 전류-전압, 효율 특성이 떨어졌을 알 수 있었다. 이를 볼 때 전극 계면에 정공 주입 층을 삽입시켜 줌으로써 낮은 전압에서도 더 많은 전하가 주입되어 저전압 구동을 구현할 수 있고 발광 효율을 높일 수 있다는 것을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Chayet, H., Farraggi, E. Z., Hong, H., Savvateev, V. N., Neumann, R., Avny, Y., Davidov, D., Syn, Met., 85, 621.
- [2] Kido, J., Kimura M. and K. Nagai, Science, 267, 1332, 1995.
- [3] Dodabalapur, A., Rothberg, L. J. and T. M. Miller, Electron Lett., 30, 1000, 1994.
- [4] Huang, M. B., MacDonald, K., Keay, J. C., Wang, Y. Q., Rosenthal, S. J., Weller, R. A. and L. C. Feldman, Appl. Phys. Lett., 73, 2914, 1998.
- [5] Hung, L. S., Tang, C. W., Mason, M. G., Raychaudhuri, P. and J. Ma dathil, Appl. Phys. Lett., 78, 544, 2001.