

## Top emission 유기 발광 소자를 위한 투명 금속 cathode 특성 평가

이찬재, 문대규, 한정인, 백성호\*, 박노훈\*, 주승삼\*  
전자부품연구원 디스플레이연구센터  
\*대성전기 DPD 사업부

### Characteristics of transparent metal Cathode for top emission organic light emitting diode

Chan-Jae Lee, Dae-Gyu Moon, Jeong-In Han, Sung-Ho Baik, No-Hoon Park, Soung-Sam Ju  
Information Display Research Center, KETI  
DaeSung Electric Co. LTD, DPD Team

#### Abstract

본 연구에서는 캐소드 방향으로 발광하는 Top emission 소자를 설계 제작하였다. 이를 위하여 반투명한 금속 박막을 제작하여 전기적 특성과 광학적 특성을 비교 평가하였다. 이를 바탕으로 제작한 Top emission 소자를 bottom emission 소자와 비교하였을 때 구동 전압은 다소 높았으며 색좌표 및 스펙트럼이 이동하였는데 이동 정도와 경향성은 파장에 따라 다르게 나타났다

**Key Words :** Top emission, transparent cathode,

#### 1. 서론

최근 유기 EL(Electro luminescence)은 빠른 응답속도, 시야각, 단순한 공정 등의 장점으로 차세대 디스플레이로써 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 현재 유기 EL 소자의 발광 특성은 전류 제어에 의하여 이루어지기 때문에 한 픽셀 당 4개 이상의 많은 트랜지스터를 필요로 하게 되어 개구율의 감소 및 해상도 저하, 전력 소모량 증대 등의 문제점이 발생하고 있다. Top emission 방식은 이러한 문제를 해결하기 위해 제안된 방식으로 발광 경로가 기판의 반대방향으로 나옴으로써 픽셀 구동을 위한 회로의 설계시 많은 제한을 줄일 수 있다. [1]

Top emission 유기 EL 소자를 제작하기 위해서

는 기존의 Bottom 방식과 빛의 발광 경로가 다르므로 전극에 관한 연구가 필요하다. 애노드의 경우에는 일함수가 높은 금속인 Ni를 사용함으로써 ITO에 비하여 향상된 특성을 얻을 수 있다.[2]

투명 전극은 일반적으로는 ITO전극이 사용되나 cathode로 사용하기에는 일함수가 높고 박막 형성시 유기물 위에 증착될 경우에는 스퍼터링되는 입자에 의하여 유기물에 데미지를 줌에 따라 short를 발생시킬 수 있으므로 직접 증착은 어려운 것으로 보고 되고 있다.[3] Cathode로 금속을 사용할 경우에는 optical skin depth이하로 두께가 얇아지게 되면 빛의 투과가 가능하나 금속 자체의 반사나 흡수 특성에 의하여 투과도가 떨어짐으로 휘도 저하의 문제점을 야기할 수 있으며, 두께가 지나치게 감소할 경우 전극으로써의 전도도를 만족시키

기 어려운 난점을 가지고 있다.

본 연구에서는 전기 전도도와 광투과도를 만족시키기 위하여 다양한 종류의 금속 박막을 시도하였다. 제작소자의 효율을 향상시키기 위하여 낮은 일함수를 갖는 금속인 Ca, Mg를 사용하였으며 금속의 보호를 위하여 Ag, Al 등을 보호막으로 20nm이하의 두께로 형성하였다. LiF/Al의 bi-layer도 시도되었는데 LiF 0.5nm와 Al 10nm을 차례로 형성하였다. 제작된 금속 박막은 먼저 가시광선 영역에서 투과도를 측정하였으며 특정 패턴을 이용하여 금속박막의 저항을 측정하였다

### 2. 실험 방법

Glass 기판을 알카리 계열의 세정제를 사용하여 표면을 세척한 후 anode로 사용할 금속을 스퍼터링 방법을 이용하여 증착한 후 포토리소그라피 공정으로 패터닝하였다. 애노드 금속의 표면 개질 및 효율 향상을 위하여 산소 플라즈마 처리가 100W에서 5분 동안 이루어졌다. 표면 처리 후 4,4'-bis[N-(1-naphthyl)-N-phenyl-amino]biphenyl (α-NPD), 50nm과 tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq3) 35nm가 증착되었으며 이후 조건에 따라 캐소드 금속 박막을 증착하였다. 적색 및 청색 소자의 경우에는 각각 Alq3 층에 DCJTB 1%를 도핑하는 방법과 DPVBi 35nm를 증착하는 방법으로 제작되었다.

금속의 투과도를 비교하기 위하여 유리 기판위에 Al, Ag, Mg 박막을 두께에 따라 증착하였다. Ca의 경우에는 단독으로 박막을 성막하였을 경우에는 산화가 바로 일어남에 따라 보호 금속 박막을 증착하여 가시광선 영역에서의 투과도를 평가하였다.

제작된 Keithley 2400을 이용하여 top emission 소자의 전기적 특성을 평가하였으며 색좌표 및 스펙트럼은 CS1000을 이용하여 측정하였다

### 3. 결과 및 고찰

각각의 금속 박막에 따른 가시광선영역에서의 투과율을 측정하였다.(그림 1) Al 10nm을 단독으로 증착된 박막은 20~40% 정도로 매우 낮은 투과도를 갖는 것으로 나타났으며 장파장으로 갈수록 투과도는 낮아지는 경향을 보였다. Ag 10nm의

박막은 35~58%정도의 투과율을 보였으며 파장에 따라 큰 차이를 보였다. 최저 투과율은 540nm에서 대략 35%로 나타났으며 적색영역으로 이동함에 따라 투과율은 다시 높아지는 현상이 나타났다.

Ca와 Mg를 단독으로 사용하였을 경우에는 공기 중에 노출되었을 경우 산화가 바로 진행되므로 보호 금속으로 Al과 Ag를 각각 10nm씩 증착하였다. 그러나 Al을 보호 금속으로 사용한 경우에는 내부에 있는 Ca과 Mg는 수분 이내에 산화가 진행되었으며 따라서 투과율은 측정하지 않았다. Ag 보호 금속막을 Ca와 Mg 10nm위에 10nm를 형성하였을 경우에는 Ca와 Mg의 산화를 방지 할 수 있었다. Ag/Ca 및 Ag/Mg의 bi-layer는 투과율 Ag 단일막에 비하여 오히려 투과율이 증가였다. Ag/Mg는 투과율 곡선의 형태는 Ag 단일막과 유사하였으나 최저값을 갖는 파장영역이 490nm로 약 50nm 정도가 단파장쪽으로 이동하였다. Ag/Ca bi-layer는 400nm에서 500nm까지 점차 감소하였으나 그 이후로는 거의 60%정도로 일정한 값을 나타내었다.

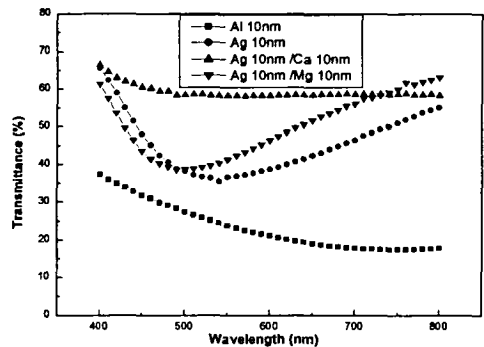


그림 1. 금속 종류에 따른 투과율

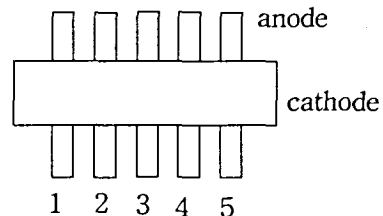


그림 2. 저항 측정을 위한 테스트 패턴

사용된 금속 박막의 전기 전도도를 평가하기 위

하여 금속 애노드위에 유기물을 증착하지 않고 캐소드 금속 박막을 증착하여 저항을 측정하였다. 애노드 금속은 Ni를 사용하였으며 패터닝한 후 전극 패턴 위에 캐소드를 증착하였다. 캐소드와 애노드 패턴간의 접촉면적은  $3 \times 10 \text{mm}^2$ 이었다. 캐소드 금속으로는 Al, Ag, Ag/Ca를 사용되었다. 패턴에 따라 Al 캐소드 박막은 애노드 금속과의 접촉면에서는 일정한 접촉저항을 갖고 있었으며 자체 증착된 막에서 전류가 흐르는 길이가 증가함에 따라 저항은 패턴 당 약 8-9 $\Omega$  정도로 균일하게 증가하는 것으로 나타났다.

Ag 10nm가 단독으로 사용된 경우에는 증착된 캐소드 간에는 저항은 거의 측정 되지 않았을 정도로 크게 나타났다. Ag 10nm 아래에 Ca 5nm를 삽입함에 따라 저항은 상당히 감소하는 것으로 나타났다. 각각의 패턴간의 저항을 비교해보면 패턴간의 거리에 따라서 저항변화는 크지 않은 것으로 나타나 저항의 주 원인이 접촉저항인 것으로 생각되었다. Ca의 삽입에 따라 접촉저항은 상당히 낮아지는 것으로 나타났으나 접촉 저항값의 편차도 30%이 넘게 나타나 소자 제작시 균일한 특성 및 재현성의 확보가 어려웠다. Ag를 15nm정도로 두께를 증가시킴에 따라서 다소 해결할 수 있었으나

표 1. 애노드 패턴을 이용한 투명 금속 캐소드의 저항 평가

|                  | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 | 2-3 | 3-4 | 4-5 |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Al 10nm          | 84  | 92  | 101 | 110 | 88  | 85  | 88  |
| Ca 5nm<br>Ag10nm | 92  | 90  | 120 | 83  | 129 | 137 | 109 |
| Ca 5nm<br>Ag15nm | 59  | 65  | 61  | 70  | 73  | 70  | 75  |

여전히 접촉 저항은 소자 구동시 문제점으로 나타났다. 이는 보호금속으로 사용된 Ag 박막이 박막의 sheet 저항은 매우 작을 지라도 애노드 금속과의 접합면에서 저항이 좋지 않기 때문으로 생각된다.

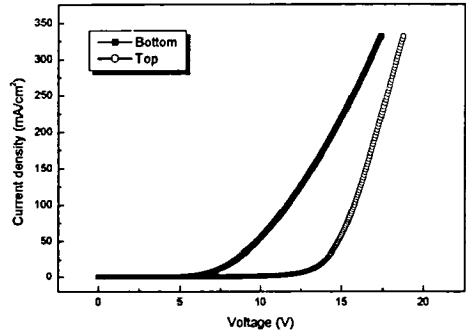


그림 3 Top & Bottom 방식으로 제작된 적색 소자의 전류 전압 곡선

Al 10nm의 투명 캐소드를 이용하여 DCJTP를 1% 도핑한 적색소자를 제작하였다.(그림 3) 유기 발광 소자의 특성을 향상시키기 위하여 0.5nm의 LiF를 삽입하였으며 LiF 0.5nm는 투과율에 있어서 큰 영향을 주지 않는 것으로 평가되었다. Bottom 방식의 경우에는 ITO가 anode로 사용되었으며 Top 방식은 Ni가 사용되었다. Turn on voltage는 Top 방식이 bottom 방식에 비하여 약 5V정도 증가한 것으로 나타났다. 이전의 연구에 따르면 ITO와 Ni를 anode로 사용하고 같은 소자 구조를 갖을 경우에는 Ni를 사용한 소자가 더 낮은 Threshold Voltage에서 구동되었으나 여기서는 오히려 더 높아진 것으로 나타났다 [2]. 이것은 유기 EL 소자의 전류가 Trap과 Space Charge에 의하여 제한되므로 캐소드 전극이 얇아지면서 Leakage Current와 trap의 증가하기 때문으로 생각된다. RGB 각각의 소자를 Top 방식과 Bottom 방식으로 제작하여 스펙트럼과 색좌표를 비교하였다(표 2). Bottom 방식에 비하여 Top 방식에서는 색좌표와 스펙트럼이 다소 변하는 것으로 나타났으며 그 정도는 파장에 따라 다르게 나타났다. 적색과 녹색에서는 파장이 단파장쪽으로 이동하였으나 청색에서는 반대로 장파장쪽으로 이동하였다. 녹색에서의 파장 이동 정도는 약 18nm정도로 다른 소자에 비하여 가장 크게 이동하였다. 이러한 파장의 이동은 금속 전극을 통과하면서 나오는 동안 금속 박막의 흡수와 굴절에 의한 것으로 생각되었다.

표 2. Top 방식과 Bottom 방식으로 제작된 소자의 파장 및 색좌표

|       | Bottom          |                | Top             |                |
|-------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
|       | wavelength (nm) | color index    | wavelength (nm) | color index    |
| Red   | 622             | 0.621<br>0.375 | 617             | 0.613<br>0.384 |
| Green | 528             | 0.320<br>0.555 | 510             | 0.256<br>0.516 |
| Blue  | 452             | 0.164<br>0.168 | 466             | 0.154<br>0.194 |

그림 4는 제작된 적색 소자의 사진이다. Top emission 방식으로 제작된 소자는 orange에서 red 쪽으로 상당히 이동하였음을 확인할 수 있었다.

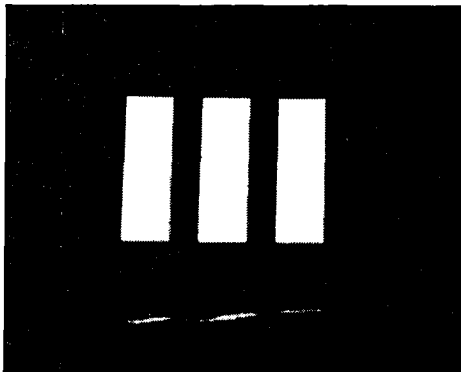


그림 4. 제작된 Top emission 소자

Top 방식과 Bottom 방식으로 녹색 소자를 제작하여 그 휘도를 비교하였다. Top 방식에서는 금속을 통과하여 빛이 나옴에 따라서 1000cd의 밝기를 내기 위한 전압은 Bottom 방식의 소자에서의 8.3V에서 13.2V로 약 5V정도 상승한 것으로 나타났다. 그러나 같은 전압에서의 휘도치는 bottom 방식에 비하여 약 36%정도의 값을 갖는 것으로 나타났다. 실제 Al 금속 박막의 Green 영역에서 투과율이 약 25%였으므로 실제 소자의 내부 양자 효율은 Ni 전극과 발광 경로 등의 차이에 의하여 약 10%정도 향상되는 것으로 생각된다.

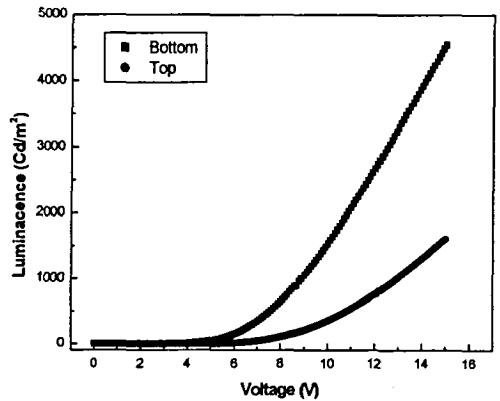


그림 5. Top 방식 과 Bottom 방식 소자의 휘도

#### 4. 결론

Top emission 소자를 제작하기 위하여 여러 종류의 금속 박막의 투과율과 저항을 평가하였다. 이 중 LiF-Al의 전극을 이용하여 Top 방식의 소자를 제작하여 그 특성을 평가하였다. 금속 전극을 통과하여 발광을 함에 따라서 발광 파장과 색좌표가 bottom 방식에 비하여 이동하는 현상이 나타났으며 휘도가 감소하였으나 Ni 전극을 통한 효율 개선 등으로 일부를 보상할 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] T. Sasaoka, M. Sekiya, A. Yumoto, J. Yamada, T. Hirano, Y. Iwase, T. Yanada, T. Ishibashi, T. Mori, M. Asano, S. Tamura and T. Urabe, SID 01 digest, p 384 (2000)
- [2] C. J. Lee, D.G. Moon, J. I. Han, N. H. Park, S. H. Baik, and S. S. Ju, IDMC2003 p.721 (2003)
- [3] G. Gu, V. Bluovic, P.E. Burrows and S. R. Forrest Appl. Phys. Lett. 68 (19) p2606 (1996)