

적색 인광 도판트를 이용한 Top emission OLED의 Transient 특성

Transient characteristics of top emission organic light emitting diodes with red phosphorescent

이찬재, 문대규, 한정인

(Chan-Jae Lee, Dae-Gyu Moon, Jeong-In Han)

Abstract

In this study, we have investigated transient properties of top emission organic light emitting diode (OLED) with a red electrophosphorescent dopant. The emission spectrum shows a strong peak at 620 nm accompanied with a small peak at 675 nm in the red region. Time evolution of electrophosphorescence reveals a decay time of 703 ms at a voltage pulse of 5 V in a device with an emitting area of 20 mm². Rise and delay times vary from 450 to 14 ms and 73 to 3 ms, respectively, as the voltage amplitude increases from 4.5 to 10 V. These results are compared with the red emitting device without an electron injection layer.

Key Words : Top emission, OLED, phosphorescent

1. 서 론

OLED (Organic Light Emitting Diodes)는 유기 재료에 전계를 가하여 전기 에너지를 빛으로 바꾸어주는 소자이다. 발광의 기본적인 원리를 보면 음극을 통하여 주입된 전자와 양극을 통하여 주입된 정공이 유기박막사이에서 재결합되고 이때 생성되는 여기자(Exciton)가 바닥상태(ground state)로 되돌아가면서 특정파장의 빛을 발광하게 된다. OLED는 이러한 메카니즘으로 인하여 LCD와 비교하여 응답속도가 빠르고 시인성이 우수하며 소비 전력이 낮고 백라이트가 없어 더 얇게 만들 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 타 디스플레이

이에 비해서도 두께, 무게, 가격 등에 있어서 우월한 특성을 보이고 있어 차세대 디스플레이로서의 높은 잠재력을 가지고 있다.

현재 OLED는 이러한 장점으로 많은 연구 개발 및 제품화가 상당한 속도로 이루어지고 있으며 그 중에서도 재료 분야는 비약적인 속도로 발전해 나가고 있다. 특히 재료의 효율을 높이는 것이 패널의 수명이나 소비전력 등에 큰 영향을 주기 때문에 형광재료에 비하여 효율이 높은 인광재료에 대한 연구가 진행되고 있다.[1-3] OLED재료는 발광시 여기자의 배열에 따라서 singlet과 triplet으로 나눌 수 있다. 일반적인 유기물에서는 singlet에 의한 형광이 발광을 하며 triplet은 발광하지 않는다. 그러나 triplet은 Ir, Eu, Pt등의 착화합물을 이용하면 발광에 이용할 수 있다. 인광은 여기된 전자가 떨어지면서 기저상태로 바로 떨어지지 않고 중간단계를 거치기 때문에 이에 따라 전기를 가했

을 때 형광에 비하여 응답속도가 느려지게 된다.

본 연구에서는 이러한 top emission 방식을 사용하여 인광소자를 제작시 정공주입층과 전자주입층의 두께 및 구조에 따른 electrotransient 특성에 대하여 살펴보았다.

2. 실험

Top emission 소자를 제작하기 위하여 세정된 유리 기판위에 Anode 전극으로 Nickel을 200nm의 두께로 증착한 후 포토리소그래피 방법을 이용하여 전극 패턴을 형성하였다. 이후 전극 위에 소자의 특성 향상을 위하여 O₂ plasma 를 3분간 처리하였다. 표면 처리된 시편은 진공 증착기내에서 4, 4',4''-tris[2-naphthyl(phenyl)amino] triphenylamine (2-TNATA), 4,4-bis[N-(1-naphthyl)-N-phenyl-amino]biphenyl (α-NPD)를 각각 20nm와 30nm의 두께로 증착한 후 발광층으로 4,4-N,N-dicarbazole-biphenyl (CBP)를 증착하고 동시에 bis[2-(2'-benzothienyl)-pyridinato-N,C'] iridium(acetylacetonate) (BtpIr(acac))를 5%의 농도로 도핑하였다. 이 위에 소자의 구조에 따라서 전자 주입층, tris-(8-hydroxyquinoline)aluminum (Alq₃)과 정공 방지층, diphenyl-1,10- phenanthroline (BCP)을 형성하였다. Cathode 전극으로는 Ca와 Ag를 각각 10nm씩 연속으로 증착하였으며 이 때 얻어진 전극은 가시광선 영역에서 70%이상의 투과율을 얻었다.[4] 제작된 소자의 발광 면적은 2X10mm²였으며 Keithley 2400과 Photodiode를 이용하여 전기적 특성을 측정하였다. 소자에 Iwatsu SG-4150을 이용하여 100Hz에 10%의 duty를 가진 pulse를 입력한 후 오실로스코프(TDS 5054)로 transient 특성을 평가하였다. 제작된 디바이스의 구조는 아래와 같다.

Device 1 : Ni(200nm)/2TNAT(20nm)/α-NPD(30nm)/CBP : BtpIr(acac) (5%, 35nm) /Ca(10nm)/ Ag(10nm)

Device 2 : Ni(200nm)/2TNAT(20nm)/α-NPD(30nm)/CBP : BtpIr(acac) (5%, 35nm) /BCP(10nm)/Ca(10nm)/ Ag(10nm)

Device 3 : Ni(200nm)/2TNAT(20nm)/α-NPD(30nm)/CBP : BtpIr(acac) (5%, 35nm) /Ca(10nm)/Ag(10nm) /BCP(10nm)/ Alq₃(10nm)/ BCP(5nm)/Ca-Ag

3. 결과 및 고찰

Top emission 구조로 Ir계열의 도판트를 사용하여 인광소자를 제작하였다. 소자는 Ni/2TNAT/α-NPD/CBP : BtpIr(acac) 5% /Ca-Ag의 구조로 제작되었다. 소자 특성을 향상시키기 위하여 발광층과 Ca-Ag cathode 사이에 BCP와 Alq₃를 추가하였다. Ca과 Alq₃의 계면에서 반응성이 큰 Ca에 의하여 Alq₃가 분해되는 것을 방지하기 위하여 Device 3에서는 Alq₃층 위에 BCP를 추가하였다.

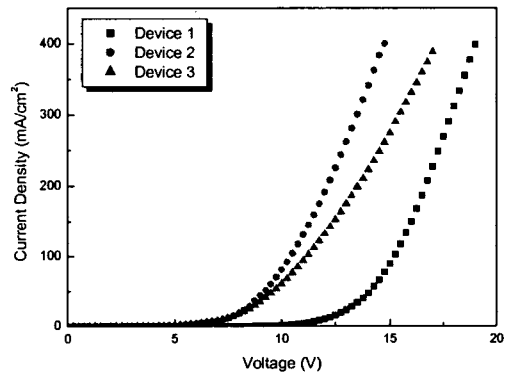
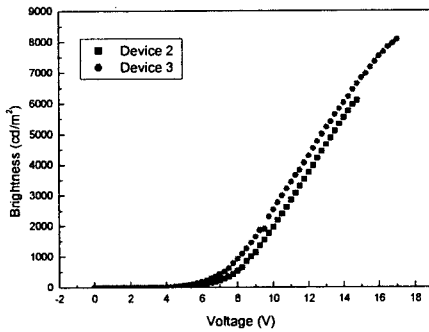


그림 1. I-V characteristics curve of device 1, 2 and 3

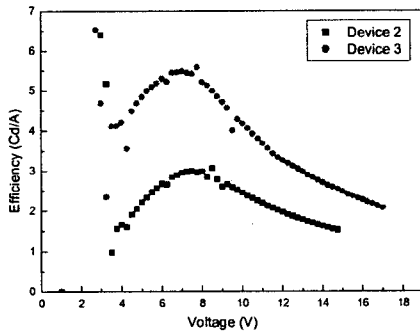
그림 1은 제작된 소자들의 I-V 특성을 나타낸다. BCP층이 추가되지 않은 Device 1의 구조에서는 threshold voltage가 12V로 다른 두 개의 device에 비하여 높게 나타났다. BCP의 사용 유무에 따라서 threshold voltage의 차이가 상당히 클 수 있었다. 이러한 결과는 본 연구에서 사용하고 있는 top emission구조에서는 anode로 사용하고 있는 Ni이 cathode에 비하여 특성이 좋기 때문이다. 상대적으로 효율이 우수한 anode로부터 주입된 hole의 수가 전자의 수보다 많기 때문에 따라서 이를 효과적으로 제어하기 위해서는 hole block과 electron transport 특성을 향상시킬 수

있는 층이 반드시 필요하다.

전류전압 곡선의 기울기는 디바이스의 두께에 민감하게 나타났는데 Device 1이 가장 급격한 기울기를 가지고 있었으며 device 2의 약간 낮으나 거의 비슷하였고 가장 두꺼운 device 3에서는 기울기가 확연히 낮게 나타났다.



(a)



(b)

그림 2. 구조에 따른 Red 인광소자의 휘도와 효율

전류 전압 특성이 우수한 device 2, 3번의 휘도와 효율을 측정하였다. 소자와 측정 장치의 보호를 위하여 한계 전류값을 100mA로 설정하였다. 각각의 최대 휘도는 6099cd/m^2 @14.75V, 8072cd/m^2 @17V였다. 또한 효율은 5V에서 각각 2.2cd/A, 4.8cd/A로 device 2에 비하여 device의 효율이 약 2배 정도 높게 나타났다. 이는 추가된 Alq3 layer가 전자수송 특성을 향상시킴에 따라서 발광효율이 향상시킨 것으로 생각된다. 두 소자의

전기적 광학적 특성을 표 1에서 비교하였다.

Device 2, 3에서는 이러한 특성 외에도 소자층 두께 차이에 의하여 소자의 응답속도가 차이 나타났다. 일반적으로 형광에 비하여 인광 소자는 triplet에 의하여 발광하게 되므로 응답속도가 느려지게 된다. 제작된 2, 3번의 소자에 square파를 입력하여 소자의 응답속도를 측정하였다. 입력된 pulse의 전압은 4.5V와 9.5V의 두 가지로 설정하였으며 주파수는 100Hz에 duty cycle은 10%로 하였다. 표 1에서 delay time 및 소자에 대한 측정 결과를 비교하였다.

표 1. 구조에 따른 적색 인광 소자의 특성

Properties		Device 2	Device 3
Device area(mm ²)		20	20
Cavity length(nm)		95	110
Device capacitance(nF)		6.5	5.62
Device charging time(ns)		325	281
Emission Peaks(nm)		620, 670	620, 670
Turn on voltage(V)	10cd/m ²	4.4	3.8
	100cd/m ²	6.1	5.4
Efficiency(cd/A @5V)		2.2	4.8
Limiting current density for triplet-triplet annihilation (mA/cm ²)		12	8
Delay time (μsec)	4.5V	-	73
	9.5V	7.92	4
Rise time (μsec)	4.5V	-	450
	9.5V	66.7	15.61
Decay time (μsec)	4.5V	990	725
	9.5V	704	661

Rise time와 delay time은 소자의 capacitance

가 감소함에 따라서 감소하였으며 인가한 전압에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 device 3에

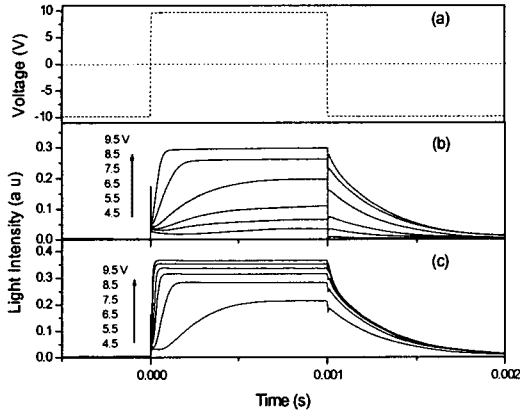


그림 3. 인가 펄스에 따른 인광 소자의 time evolution (a)인가 펄스 (b) device 2 (c) device 3

서 rise time은 전압이 증가함에 따라 약 30배정도 빨라졌다. 이는 인가된 전압의 증가에 따라 electric field가 증가하여 organic layer안에서 carrier의 mobility가 증가하기 때문이다. Cathode와 BCP층 사이에 삽입된 Alq3 layer는 delay time을 상당히 줄였으며 이는 인광소자 내에서 전자 주입 특성이 향상되기 때문으로 생각된다. 두 소자에 1000 μ s동안 일정 전압을 인가하였을 때 소자의 발광까지의 rise time과 decay time을 그림 3에서 나타내었다.

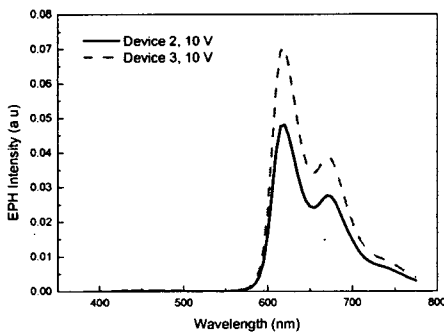


그림 4. 적색 인광소자(device 2, 3)의 스펙트럼.

Cathode와 BCP사이에 삽입된 Alq3 층은 휘도나 전기적 특성에는 많은 영향을 주었으나 스펙트럼에는 변화를 주지는 않았다. 그림 4는 두 소자에 10V를 인가하였을 때의 스펙트럼 곡선을 나타내었다. 전체적인 intensity는 device3에서 더 높게 나타났으나 620nm와 670nm에서 적색 peak이 나타났다.

4. 결론

적색 Top emission OLED를 제작하여 발광 특성을 평가하였다. 제작된 소자는 anode로 금속인 Ni를 사용하였으며 적색을 내기 위하여 CBP를 호스트로 사용하고 BtIr(acac)를 도판트로 이용하였다. 발광된 빛은 투명 금속 Cathode를 통하여 나오도록 제작되었다. 제작된 소자는 정공저지층과 전자주입층의 구조와 두께를 달리하였으며 이에 따른 electrotransient 특성을 분석하였다. 소자의 발광 특성을 측정하기 위하여 일정 전압을 가진 펄스파를 소자에 인가하여 소자에서 방출되는 펄스를 비교하였다. 소자의 두께에 따라서 일정 rise time과 delay time이 달라졌으며 전자주입층의 삽입에 따라 delay time이 현저히 감소하는 결과를 얻을 수 있었다. 제작된 소자의 구조 최적화를 통하여 rise time은 450 μ sec에서 14 μ sec로 delay time은 73 μ sec에서 3 μ sec로 감소시켰다.

참고 문헌

[1] B.W. D'Andrade, J. Brooks, V. Adamovich, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, Adv. Mater. 14 (2002) 1032.
 [2] S. Tokito, T. Iijima, Y. Suzuri, H. Kita, T. Tsuzuki, and F. Sato, Appl. Phys. Lett. 369 (2003) 569
 [3] M. A. Baldo, D. F. Brien, Y. You, A. Shoustikov, S. Sibley, M.E. Thompson, and S. R. Forrest, Nature (London) 395 (1998) 151
 [4] C. J. Lee, R. B. Pode, D. G. Moon, J. I. Han, N. H. Park, S. H. Baik, and S. S. Ju, phys. stat. soli. (a) 201, (2004) 1022.