

ITO/ α -NPD:DCM/ α -NPD/BCP/Alq₃/Al 구조에서의 DCM의 도핑농도에 따른 유기 백색발광소자 구현

최성진, 조재영, *윤석범, 오환술
건국대학교 전자공학부, *공주대학교 광응용과학전공

The Fabrication of the White Organic Light Emitting Devices by varying the Doping Concentrations of DCM in ITO/ α -NPD:DCM/ α -NPD/BCP/Alq₃/Al structure

Sung-Jin Choi, Jae-Young Cho, *Seok-Beom Yoon, Hwan-Sool Oh

Dept. of Electronic Engineering, Konkuk University

*Dept. of Optical Science, Kongju University

E-mail : sjchoi@kkucc.konkuk.ac.kr

Abstract

In this study, the white organic light emitting device was fabricated using ITO/ α -NPD:DCM/ α -NPD/BCP/Alq₃/Al structure. Blue emission by α -NPD and orange emission by energy transfer between α -NPD and DCM embodied the white emission. The optimal structure of the white OLED is ITO/ α -NPD:DCM(50%)/ α -NPD(150Å)/BCP(100nm)/Alq₃(200nm)/Al. We varied the doping concentration of DCM properly and obtained high purity white emitting light. The CIE coordinate and maximum luminance of the devices was obtained (0.310, 0.333) and 400cd/m² at 11Volt.

I. 서론

자발광, 경량박형, 유연성, 광시야각, 빠른 응답속도 및 제조 공정의 단순화 등의 장점을 지닌 차세대 평판 디스플레이로 주목받고 있는 유기전계발광소자(OELD)는 1987년에 Eastman-Kodak사의 C.W.Tang 등이 발광층과 전하수송층으로 각각 Alq와 TPD라는 이중

층 저분자 유기물 박막을 형성하여 효율과 안정성이 개선된 녹색의 발광소자를 제작, 발표^[1]한 후 계속적으로 연구되어 현재 실용화 단계에 이르고 있다. 특히 칼라 필터와의 조합에 의한 풀칼라 디스플레이 구현이나 자연광에 가까운 조명용 소자로의 응용이 가능한 적층형 유기 백색 발광소자는 1994년 Kido에 의해 최초로 발표^[2]된 후 지속적인 연구가 진행되어 왔으나 발광특성, 결정화, 색재현성, 안정성, 수명 등의 문제점이 나타났고 이를 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행중이다^{[3][4]}.

유기 EL 소자의 풀칼라 구현 방식은 R/G/B 삼원색의 독립발광에 의한 개별화소 구동방식, 청색발광과 색변환층에 의한 색변환방식, 백색발광과 칼라필터에 의한 방식(백색법) 등으로 구분 가능하다. 이 중 백색법은 소자 측면에서 가장 제조 단가가 저렴하고 높은 해상도와 안정성을 가지고 있으며 간단한 제조 공정 등의 장점을 가지기 때문에 많은 관심을 갖고 연구개발이 진행되고 있다.

본 논문에서는 청색계열의 α -NPD를 청색발광재료 및 Host 물질로 사용하고 적색계열의 형광색소인 DCM

을 중량비(wt%)로 농도변화를 주어 도핑함으로써 유기 백색발광 소자를 제작하고 특성을 평가하여 고순도 백색광을 얻기 위한 최적의 중량비를 결정함으로써 풀칼라 및 백색광원으로서의 최적 공정 조건을 얻고자 한다.

II. 실험

본 논문을 위한 소자 제작을 하기 위해 먼저항 10Ω/□, 두께 1200Å의 ITO가 코팅된 유리기판을 사용하였다. ITO의 식각을 위해 HCl:HNO₃:D.I.Water를 10:1:2의 비율로 혼합한 용액에서 15분간 처리하였고 패터닝된 ITO기판을 1inch × 1inch 크기로 잘라 시편으로 사용하였다. 유기를 진공증착에 앞서 유리기판의 초기세척을 위해 먼저 초음파 세척기에 탈이온수와 증성세제를 넣고 15분간 세척한 후 탈이온수만으로 15분간 세척하고 TCE(삼염화에틸렌)과 아세톤, 이소프로필알코올에서 각각 15분씩 세척하였다. 초음파 세척을 끝낸 시편은 탈이온수를 이용해 마무리 세척을 하고 열판에 올려 60℃로 가열한 후 질소가스로 건조시켰다.

소자제작을 위한 유기물 증착은 2-파장 방식의 고순도 백색광 구현을 위해 적색계열의 형광색소인 DCM을 guest 물질로 사용하여 host 물질인 α-NPD에 doping하고 청색계열의 발광을 위해 α-NPD를 사용하였다. 발광층내 전자의 주입을 원활히 하기 위해 전자수송물질인 Alq₃를 사용하였고 발광층에 정공을 구속하여 전자-정공의 재결합 영역을 발광층으로 제한하고자 발광층과 전자수송층 사이에 BCP를 삽입하여 정공방지막으로 사용하였다. 음극전극을 위한 금속으로는 공기중에서 산화에 잘 견디는 Al을 사용하였다. 모든 유기물과 Al의 적층은 박막의 균일도를 증가시키기 위해 기판을 4RPM으로 회전시키는 가운데, 진공도 10⁻⁷torr에서 다단계 진공증착법을 사용하여 이루어졌다.

제작된 소자의 구조는 Glass/ITO/α-NPD:DCM/α-NPD/BCP/Alq₃/Al이며, 각 층의 두께는 α-NPD:DCM가 50Å, α-NPD가 150Å, BCP가 100Å, Alq₃는 200Å, Al은 1000Å로 하였다. 이 때, 증착속도는 0.1~0.5Å/sec가 되게 하였다.

III. 결과 및 고찰

본 논문에서는 고순도 백색발광을 구현하기 위해 적색계열 형광색소인 DCM을 0.5wt%, 0.75wt%, 1.0wt%로 농도변화를 주면서 청색계열인 α-NPD에 도핑하였다.

그림 1은 제작한 유기 백색발광소자에 11V의 전압을 인가시 DCM의 도핑농도 변화에 따른 정규화된 EL 스펙트럼이고 그림 2는 DCM 도핑농도 1wt% 일 때 소자의 인가전압 변화에 따른 정규화된 EL 스펙트럼이다.

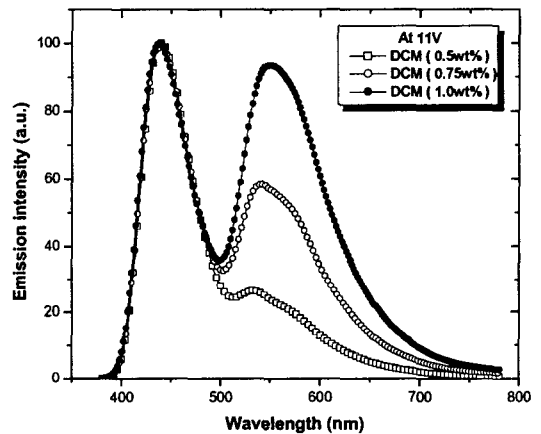


그림 1. 11V 인가시 DCM의 도핑농도 변화에 따른 EL 스펙트럼

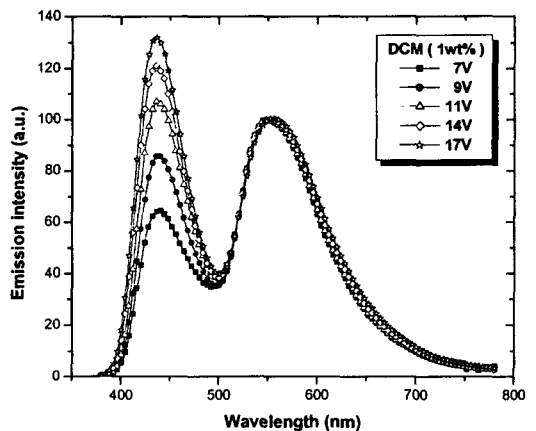


그림 2. DCM 1wt% 도핑시 인가전압 변화에 따른 EL 스펙트럼

그림 1에서 보면 DCM의 도핑농도가 증가함에 따라 적색계열 EL 강도 최대값이 증가하고 있다. 이것은 도핑량의 증가에 따라 Host 물질로부터 에너지 천이가 되는 사이트들이 많아지기 때문에 나타나는 현상이라고 사료된다. 또한 도핑농도 증가에 따라 장파장 쪽으로 이동하는 특성도 보이는데 이는 색소물질인 DCM의 농도가 증가할수록 다이폴-다이폴 천이가 발생하는 임계 반경이 줄어들어 guest 물질의 에너지 차가 작아져 결국 장파장 쪽으로 최대파장이 이동하는 것이다. 그림 2는 DCM 도핑농도 1wt%에서의 인가전압에 따른 EL 스펙트럼이며 인가전압의 증가에 따라 각 물질의 고유 최대 발광 파장(438nm, 565nm)에는 거의 변화가 없었지만 청색계열 EL 강도의 최대값이 증가하게 된다. 이를 그림 3의 에너지 밴드 차원에서 설명하면 인가전압이 증가함에 따라 α -NPD내의 DCM영역에서의 재결합사이트들이 포화되고 높은 전압에서 hoping해 들어온 더 많은 수의 전자와 정공이 정공장벽층인 BCP로 인하여 발광층내 구속됨으로써 청색계열 발광층으로 사용한 α -NPD의 발광에 의존하게 되기 때문에 사료된다. 그림 2에서 11V가 인가되었을 때, 가장 순도가 높은 백색 발광($x=0.310$, $y=0.333$)을 하며 이는 그림 4의 CIE 좌표계를 통해서 확인해 볼 수 있다.

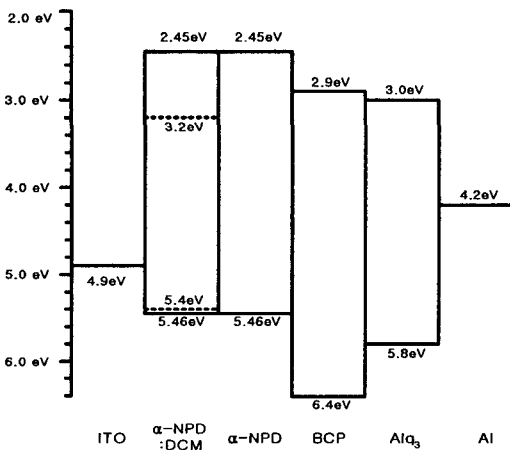


그림 3. ITO/ α -NPD:DCM/ α -NPD/BCP/Alq₃/Al 구조의 에너지 대역도

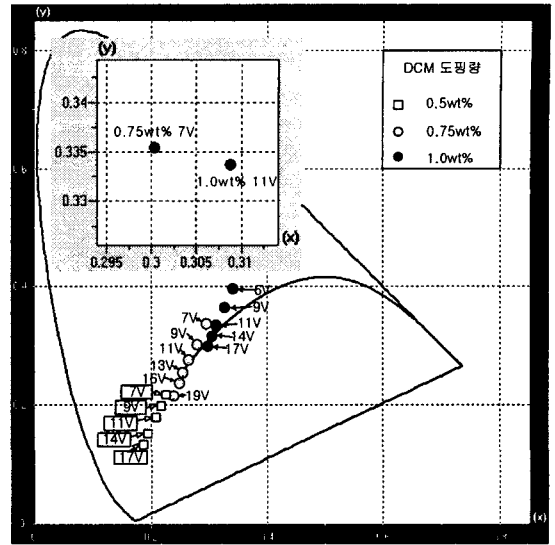


그림 4. DCM 도핑 농도와 인가전압의 변화에 따른 색좌표

그림 4는 Minolta社의 CS-1000 spectradiometer를 사용하여 측정한 색좌표이다. 도핑농도가 증가함에 따라서 발광색이 적색계열인 오른쪽으로 이동해가는 것을 볼 수 있다. 반면에 인가전압이 증가함에 따라서는 청색계열인 왼쪽 아래로 발광색이 치우치게 되는 것을 확인해 볼 수 있다. 구현한 소자의 고순도 색좌표 값은 0.75wt%, 7V와 1.0wt%, 11V에서 각각 $x=0.300$, $y=0.335$ 와 $x=0.310$, $y=0.333$ 로 나타났다.

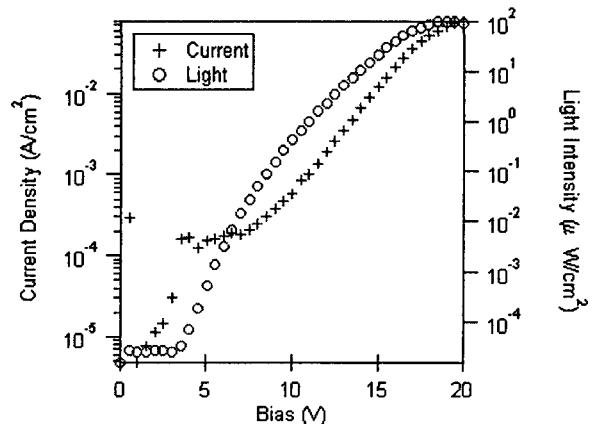


그림 5. 유기 백색발광 소자의 전류-전압-광출력 (I-V-L) 특성

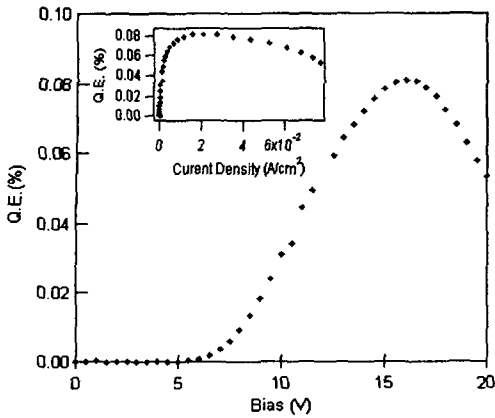


그림 6. 제작한 유기 백색발광소자의 전압과 전류밀도에 따른 양자효율 특성

그림 5는 Newport Optical Powermeter 1830-C와 Keithley 236 Source-Measure Units으로 구성된 시스템을 이용하여 유기 백색발광소자의 전류-전압-광출력 특성을 측정한 후 로그 스케일(log scale)로 나타낸 그래프이다. 이를 통해 제작된 소자의 turn-on 전압이 약 4V임을 확인할 수 있다. 전류밀도 특성을 보면 turn-on 전압인 4V정도에서 갑자기 증가하는 특성을 보이는데 이는 발광층으로의 전류공급을 의미한다. 20V에서 CS-1000으로 측정한 휘도값이 800cd/m²이고 그림 5에서의 전류밀도값이 78mA/cm² 이므로 계산에 의해 소자의 발광특성 효율(luminance efficiency)을 구해보면 약 1cd/A가 나온다. 그림 6은 전압과 전류밀도에 따른 양자효율을 나타낸 그래프이다. 17V정도에서부터 효율이 떨어지기 시작하는데 이는 소자의 내부적인 결함 또는 외부의 수증기나 산소에 의한 열화로 전압과 전류밀도의 증가량에 대한 광출력의 값이 상대적으로 떨어지기 때문에 나타나는 현상으로 사료된다.

IV. 결론

본 논문에서는 DCM을 정공수송층으로도 특성이 좋은 α -NPD에 적절히 도핑함으로써 낮은 전압에서 고순도, 고휘도의 백색광을 구현했다. DCM의 도핑농도가 1wt%, 인가전압이 11V일 때 가장 좋은 백색광 특성

($x=0.310$, $y=0.333$)을 보였고, 0.75wt%의 도핑농도를 갖는 소자의 경우, 7V에서도 좋은 백색광 특성($x=0.300$, $y=0.335$)을 보였다. 2-파장 방식의 간단한 구조를 통하여 구현한 유기 백색발광 소자는 R/G/B 삼원색을 이용한 3-파장 방식의 소자^[5]보다 제조 단가가 저렴하므로 효율과 수명면에서 개선을 한다면 LCD의 백라이트 및 조명 등, 평판패널디스플레이 산업 분야에 다양하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] C.W. Tang and S.A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", Appl. Phys. Lett., Vol.51, No.12, pp.913-915, 1987
- [2] J. Kido, M. Kimura, K. Nagai, "Multilayer White Light-Emitting Organic Electroluminescent Device", Science, Vol. 267, pp.1332-1334, March, 1995
- [3] J. Kido, "White Light emitting Organic EL Devices", 月刊 Display, pp.83-86, Oct., 1998
- [4] Y. Yang and Q. Pei, "Efficient Blue-Green and White Light-Emitting Electrochemical Cells based on Poly[9,9-bis(3,6-dioxahexyl)-fluorene-2, 7-diyl]", J. Appl. Phys., Vol.81, No.7, pp.3294-3298, April, 1997
- [5] 노병규, 강명구, 오환술, "다층구조 백색유기발광소자의 제작 및 특성 분석에 관한 연구", 한국전기전자재료학회, Vol.15, No.5, pp.429-434, 2002