

論文2001-38SD-12-1

새로운 고효율 유기 폴리머 녹색발광소자의 제작 및 특성 분석

(The Fabrication and Characteristic Analysis with Novel High Efficiency Organic Polymer Green Electroluminescence)

吳 煥 述 *

(Oh, Hwan Sool)

요 약

낮은 동작전압에서 안정하게 동작하고 고효율을 갖는 단층 폴리머 녹색광소자를 갖는 새로운 물질을 합성하였으며 이는 폴리머물질인 PC(B79)에 유기단분자인 전자수송성이 뛰어난 NIDI와 정공수송성이 뛰어난 TTA를 분자분산하여 첨가색소인 C6의 도핑농도에 변화를 주어 스페코팅으로 녹색발광소자를 제작하였다. 소자 구조는 glass/ITO/PC:TTA:NIDI:C6/cathode이고 음극전극으로 일함수가 낮은 Ca과 Mg 그리고 Ca/Al을 진공증착하여 전기적·광학적 특성을 비교조사하였다. C6의 도핑농도가 0.08mole%에서 양자효율이 최대인 0.58%를 얻었고 이것은 도핑하지 않을때보다 약 55배 높았고, 동작개시전압도 2.4V의 낮은 동작개시전압에서 안정하게 동작하였다. 한편 PL과 EL측정결과 C6의 도핑농도를 변화하여도 발광파장의 최대값은 거의 일정하였다. PL강도의 최대발광파장은 495nm였고 EL강도의 최대발광파장은 520nm이고 FWHM은 약 70nm를 얻었다.

Abstract

Single-layer polymer green electroluminescent devices were fabricated with novel material synthesis by using moleculely-dispersed TTA and NIDI into the polymer PC(B79) emitter layer doped with C6 fluorescent dye which has low operating voltage and high quantum efficiency. A EL cell structure of glass substrate/indium-tin-oxide/PC:TTA:NIDI:C6/Ca/Al was employed and compared with various low work function cathode electrodes Ca and Mg metals. By adjusting the concentration of the fluorescent dye C6, low turn-on voltage of 2.4V was obtained, maximum quantum efficiency of 0.58% at 0.08mole% has been improved by about a factor of ~55 times in comparison with the undoped cell. The PL and EL colors can't be turned by changing the concentration of the C6 dopant. PL emission peaking was obtained at 495nm and EL emission peaking at 520nm with FWHM ~70nm

I. 서 론

유기EL의 연구는 1987년 Tang이 10V의 구동전압으

로 1,000 cd/m²의 휘도를 발표¹⁾한 이후로 현재까지 새로운 구조의 유기EL소자들이 엄청나게 발표되어 왔다.^{2~5)} 그 결과 단색유기EL디스플레이가 셀룰러폰 등에 장착되어 시판되고 있고 또 동화상 칼라유기EL 디스플레이도 곧 시판 될 예정이다.^{6,7)} 액정(LCD)의 생산량으로 세계를 제패한 기업들이 이제 제작비가 저렴하고 응답특성이 우수한 유기EL소자로 눈을 돌리고 있다.⁸⁾ 따라서 차세대 디스플레이로서 IMT-2000용으로

* 正會員, 建國大學校 情報通新大學 電子工學部
(Konkuk University Dept. of Electronic Engineering)
接受日字:2001年3月28日, 수정완료일:2001年10月31日

응용하기 위해 끊임없는 연구를 하고 있는 실정이다.^[9] 일반적으로 유기EL소자는 저분자량 유기화합물의 증착 박막을 사용하고 있으나 유기박막의 두께제어가 용이하고 제조단가가 저렴한 폴리머 재료를 이용한 유기EL에 대한 개발도 전망이 밝다.^[10,11] 풀칼라 유기EL디스플레이를 실현하기 위해 여러가지 방법들이 제안되어 왔지만 그중에서도 특히 내구성과 고효율을 갖는 유기백색발광소자의 개발이 필수적이다.^[12,13] 최근 유기백색발광 소자 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 아직 발광효율이 미약한 수준이다.^[14~16]

대표적인 유기 백색발광소자로서 유기 단분자를 이용한 적층구조에 빛의 3원색인 적색, 녹색, 청색(RGB)의 색소를 첨가하여 진공증착법을 사용하여 백색광을 얻었으나 유기박막층을 형성후 결정화가 되기 쉽고 다른 유기물질과의 여기복합체(exciplex)를 형성하는 문제점이 있다. 따라서 최근 유기물질을 스핀코팅법으로 손쉽게 박막을 형성할 수 있고 단층구조의 발광소자를 제작할 수 있고 제조공정 비용이 매우 저렴하기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다. 또한 폴리머물질은 결정화가 되기 어려운 장점이 있어 향후 유기 폴리머물질을 이용한 백색발광소자가 각광을 받고 있다. 지금까지 유기 단층 폴리머백색발광소자는 일본의 Kido가 발표한 구조가 대표적이며 그는 폴리머물질인 PVK(poly(N-vinylcarbazole)를 발광층으로 하여 여기에 RGB의 형광색소들을 분자분산하여 높은 발광휘도를 갖는 백색 발광소자를 제작한 바 있으나 구동전압이 높고 발광스펙트럼폭이 넓기때문에 풀칼라디스플레이를 위한 칼라 필터로는 적합하지 않았다.^[17] 따라서 칼라필터로 활용하려면 순수한 백색발광소자를 얻어야하는데 이를 위해선 RGB 개개의 스펙트럼폭이 좁은 순수한 색들을 내는 개별적인 발광소자를 먼저 구현하는 것이 필수적이다.

이를 위해 새로운 합성물질을 개발하는 것이 필수적이므로 본 연구는 PC(B79)를 발광층으로 하여 여기에 정공수송성이 뛰어난 유기단분자인 TTA와 전자수송성이 뛰어난 유기단분자인 NIDI를 분자분산하여 기존 Kido가 발표한 폴리머물질인 PVK보다 동일조건에서 훨씬 높은 전류값을 얻었다. 이는 정공주입층인 ITO와 발광층인 PC층이 계면을 이루고 발광층은 ITO의 이온화포텐셜(IP)과 거의 동일한 값을 갖기때문에 캐리어주입이 용이하여 구동전압을 줄일 수 있고 안정성도 우수하기 때문에 소자의 수명과 내열성의 향상이 기대된

다. 따라서 여기에 발광휘도가 뛰어난 녹색 유기 형광색소인 C6분자를 분산하여 낮은 동작전압에서 안정하게 동작하며 고효율을 갖는 녹색 폴리머발광소자를 구현하였다.

II. 연구내용

ITO가 코팅된 유리기판위에 폴리머물질인 PC(2.5g)에 정공수송성이 뛰어난 유기단분자 TTA(1.5g)와 전자수송성이 뛰어난 유기단분자 NIDI(1.0g)를 유기용매인 뷰틸아세테이트(N-butyl acetate:BuOAc)에서 57.05ml를 용매로하여 희석하였다. 그런후 녹색형광색소인 C6를 극미량 첨가하여 도핑농도를 제어하였고 발광층의 두께를 조절하기 위하여 3종류의 유기용매(chloroform, BuOAc, THF)를 사용하여 희석하여 스핀코팅조건을 확립하였다. 특히 C6 농도는 유기용매를 사용하여 도핑량(mole%)을 조절하였다. 한편 스핀코팅과 진공증착기가 함께 장착된 glove box내의 분위기는 압력이 5mbar, H₂O농도<1ppm, O₂농도<6ppm으로 유지하였고 특히 O₂가 존재하면 접촉저항값에 문제가 야기되므로 O₂농도가 15ppm이상이면 purge하여 항상 최적인 분위기에서 실험하였다. 초기세척으로 유리접시위에 비누물을 3방울 떨어뜨린후 탈이온수(18M Ω ·cm)로 희석한 후 패터화된 기판을 넣고 면봉으로 패터화된 부분을 가볍게 씻고 초음파세척기에 넣어 5분간 담근후 다시 탈이온수에 5분간 담근후 행귀내었다. 이때 탈이온수가 들어있는 용기에 질소가스를 약간 불어넣어 기포를 만든後(bubbling), 10분간 탈이온수가 흘러넘치도록 담겨 두었다. 기판을 꺼집어 낸후 Aero-Duster로 물기를 깨끗하게 불어 제거한후, 다시 기판을 UV/Ozone Cleaner에 10분간 넣어 전조시켰다. 전조後 기판을 테프론 재질인 작은 캐리어 통에 밀봉하여 glove box로 이동하였다. 스핀코팅할 때 피펫으로 각각의 유기물질들을 250 μ L로 고정시켜 사용하였다. 발광층두께를 조절하기 위하여 유기용매를 가변하였고 스핀속도는 1000rpm에서 8000rpm까지 변화를 주면서 각각 60초동안 코팅하였다. 접합계면에서 표면의 평탄성을 좋게 하고 기판과 표면과의 접합을 원활하게하기 위해 희석한 유기용매와 동일종류의 유기용매로 미리 기판위에 60초간 스핀코팅한後, 혼합된 유기물질들을 차례로 박막을 스핀코팅하였다. 스핀코팅이 끝난後, 음극전극이 증착될 부분을 동일 유기용매로 에칭後, 진공증착기의 벨자내에 마

스크패턴에 맞도록 장착하여 Ca와 Al을 텅스텐 보우트에 올리고 진공도 10^2 mbar에서 overnight하였다. 다시 진공도 10^7 mbar로 낮춰 Ca은 증착율 5Å/sec로 하여 200Å두께로 그후 Al을 증착율 5Å/sec로 하여 200Å두께로 차례로 in-situ공정으로 증착하여 소자를 완성하였다.

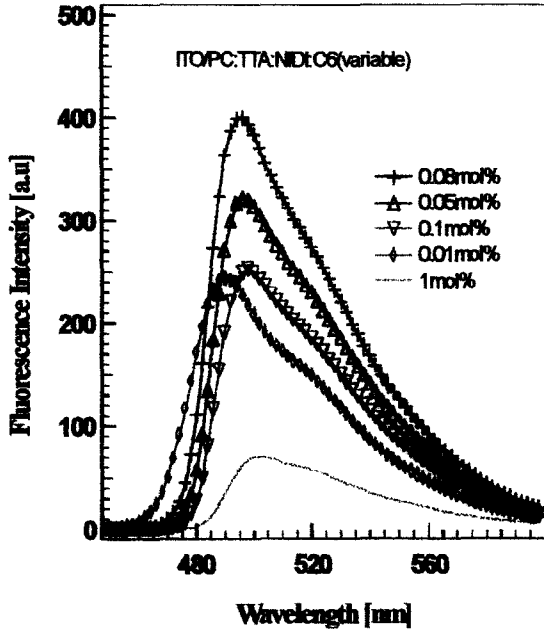


그림 1. glass/ITO/PC:TTA:NIDI:C6시료에서 C6의 농도변화에 따른 PL스펙트럼
 Fig. 1. PL spectrum of the glass/ITO/PC:TTA:NIDI:C6 cells by the variable C6 mole%.

그림 1은 ITO가 코팅된 유리기판위에 유기물질들을 스핀코팅하여 박막을 성장한 구조의 형광 PL스펙트럼이다. 코팅한 유기박막은 PC:TTA:NIDI를 뷰틸아세테이트에서 18mg/ml로 희석하여 C6의 도핑농도를 0.01mole%에서 1mole% 까지 가변하였다. 발광층의 두께가 1000Å~1500Å범위로 조절하기위해 스핀조건(3000rpm, 60초)을 확립하였다. 여기서 C6농도를 0.01mole%에서 차츰 증가함에 따라 PL형광강도가 증대하였고 0.08mole%에서 최대값을 이루다가 다시 증가할때 PL강도가 줄어 듦을 볼 수 있다. 한편 C6의 도핑농도값에 관계없이 PL 최대발광파장이 492nm로 거의 일정하게 나타났었다. 다만 C6가 0.01mole%에서 최대파장이 약간 왼쪽으로 이동하였는데 이는 도핑농도가 극미량에선 PC인 발광층에 미치는 영향이 약하기 때문

이라 사료된다. 실험의 재현성을 확인하기위해 다른 2 종류의 유기용매(chloroform, THF)를 사용하였으나 결과는 유사한 PL 특성이 나타났었다. 이것은 종래의 TangTM이 발표했던 유기단분자인 Alq3에 녹색 형광색소인 C540를 첨가하여 도핑농도(mole%)에 변화를 줄때 최대발광강도의 발광파장값이 달라진 결과와 매우 대조적인 사실이다.

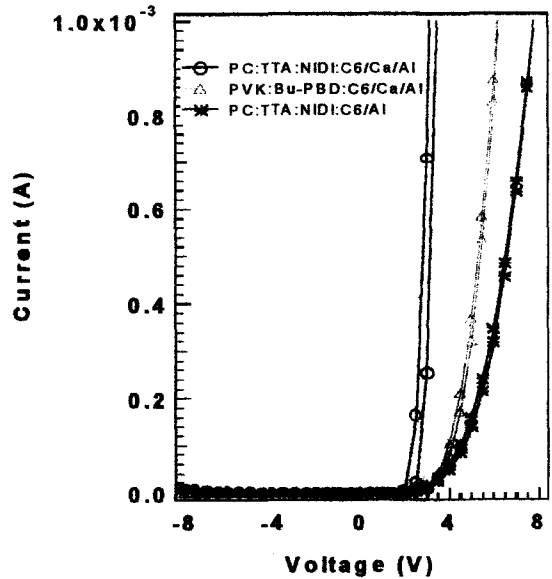


그림 2. glass/ITO/PC(2.5g):TTA(1.5g):NIDI(1g):C6/cathode구조의 선형 전류-전압특성곡선
 Fig. 2. Linear I-V properties of the glass/ITO/PC(2.5g):TTA(1.5g):NIDI(1g):C6/cathode.

그림 2는 glass/ITO/PC(2.5g):TTA(1.5g):NIDI(1g):C6/cathode구조의 녹색발광소자이며 C6의 도핑농도를 0.08mole%로 하여 유기 발광층의 두께를 1300Å로 스핀코팅한후 음극전극으로 Ca(200Å)/Al(200Å)와 Al(200Å)을 각각 진공증착한 소자의 선형 전류-전압특성분포이다. 이를 비교하기 위하여 Kido가 제안한 glass/ITO/PVK(70wt%):Bu-PBD(30wt%):C6(0.08mole%)/Ca(200Å)/Al(200Å)구조의 녹색발광소자를 동일조건에서 제작하여 비교 조사하였다. 전류-전압측정은 Keithley 195A multimeters로 하였고 모두 대기중에서 측정하였다. 모두 정류특성을 보이며 본 연구에서 동작개시전압이 2.4V로 Kido의 3.8V보다 낮게 나타났고 또 동일전압에서 측정한 전류값은 PC폴리머 소자가 훨씬 높은 전류값을 보였다. 이것은 발광층인 PC에 전자와

정공의 수송특성이 별개로 구성된 유기단분자인 TTA와 NIDI물질을 분자분산한 경우가 발광층이며 정공수송특성을 지닌 PVK에 전자수송성인 Bu-PBD를 분자분산한 경우보다 발광층에 전자와 정공의 주입이 보다 원활하게 균형을 이뤘기 때문이라 사료되며 이를 입증할 수 있는 근거로써 주입양자효율도 월등히 폴리머 PC소자가 우수하게 나타났다. 또 동일두께를 증착한 유기박막에서 순수한 Al(200Å)만을 음극전극으로 만든 소자에선 Ca/Al전극보다 동작개시전압이 높고 또 전류값이 낮음을 알 수 있다. 이것은 Ca이 Al보다 일함수가 낮기 때문에 음극전극에서 전자주입이 보다 쉽게 이동하였기 때문이라 사료된다.

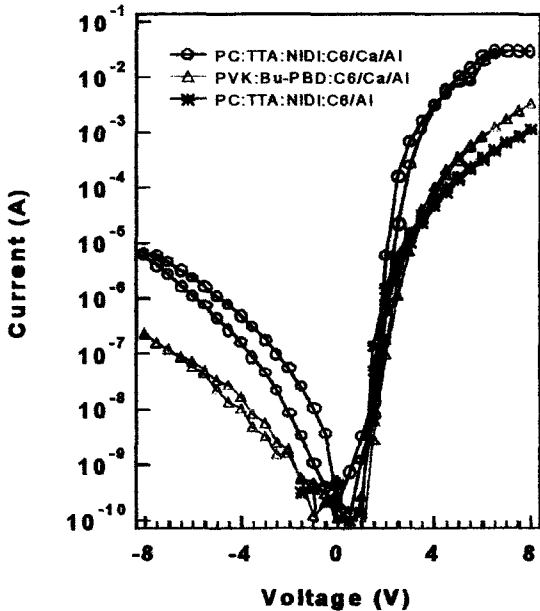


그림 3. glass/ITO/PC(2.5g):TTA(1.5g):NIDI(1g):C6/cathode구조의 전류-전압특성곡선
 Fig. 3. Log I-V properties of the glass/ITO/PC(2.5g):TTA(1.5g):NIDI(1g):C6/cathode LEDs.

그림 3은 그림 2의 전류-전압 선형분포를 보다 구체적으로 정확한 전류값을 나타내기 위하여 로그함수로 나타낸 그림이며 결과는 그림 2와 동일하다.

그림 4는 glass/ITO/PC(2.5g):TTA(1.5g):NIDI(1g):C6(0.08mole%)/cathode 구조로 유기용매인 뷰틸아세테이트에 18mg/ml로 희석하여 스핀코팅(3000rpm, 60sec)한 발광층의 두께를 1240Å로 입힌 시료와 glass/ITO/PVK(69.5wt%):Bu-PBD(30.5wt%):C6(0.08mole%)/cathode구조에 유기용매인 THF로 희석한후(20mg/ml) 스

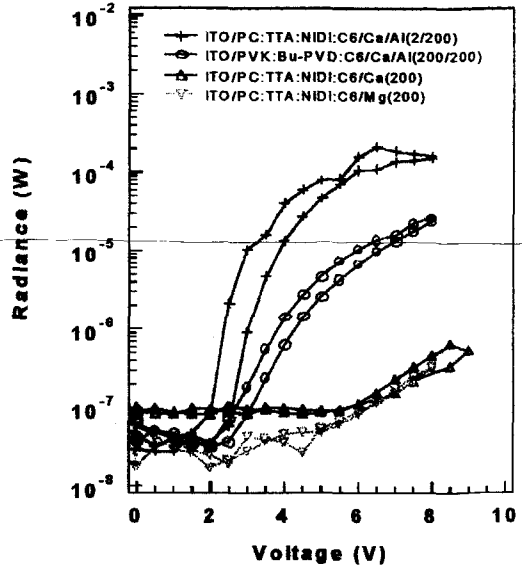


그림 4. PC:TTA:NIDI:C6/Ca/Al구조와 PVK:Bu-PBD:C6/Ca/Al구조의 전압-광출력 특성곡선 비교
 Fig. 4. Comparison of L-V properties of the PC:TTA:NIDI:C6/Ca/Al and PVK:Bu-PBD:C6/Ca/Al cells.

핀코팅하여(3000rpm, 60sec) 발광층두께를 1300Å로 입힌 시료위에 음극전극으로 둘다 Ca/Al(200/200Å)으로 진공증착한 녹색발광소자의 전압변화에 따른 광출력특성을 대기중에서 측정된 그림이다. 그림 2의 전류-전압 특성에서의 같이 PC 폴리머 소자가 PVK폴리머 소자보다 동작개시전압이 낮고 또 동일전압에서 광출력특성이 훨씬 높게 나왔다. 이는 전자주입과 정공주입이 우수한 TTA와 NIDI층에서 균형있게 발광층에 공급되었기 때문이라 사료된다. 한편 동일조건으로 스핀코팅하여 만든 유기박막인 PC(2.5g):TTA(1.5g):NIDI(1g):C6(0.08mole%)발광층위에 음극전극을 일함수가 낮은 순수한 단일 Ca과 Mg금속을 진공증착하여 광출력-전압특성을 비교조사하였는데 Ca이 Mg보다 일함수가 낮기 때문에 광출력이 약간 높음을 알 수 있으나 둘다 Ca/Al전극구조에 비해 광출력특성이 나빠져 이는 진공중에서 산화가 쉽게 되었기 때문이라 사료된다.

그림 5는 glass/ITO/PC(2.5g):TTA(1.5g):NIDI(1g):C6(0.08mole%)Al(1240Å)/Ca(200Å)/Al(200Å)구조의 전계발광 스펙트럼이며 최대 발광파장은 520nm에서 나타났고 FWHM은 약 70nm이며 기존의 발표된 논문보다 훨씬 좋은 결과를 얻었다.^[18] 발광색은 순수한 녹색을 나타냄을 CIE 색도좌표값 (0.23, 0.53)을 통해 알 수 있

었다. 그리고 PL강도의 특성과 최대발광파장을 비교하기 위해 그림 2에서 C6의 도핑농도가 0.08mole%일때 PL강도의 최대발광파장은 492nm에 비해 EL강도의 최대발광파장은 520nm로 약간 장파장으로 흡수띠에 대해 스토크 이동(stoke shift)을 보였다. 그리고 전계강도는 인가전압을 증가하면 점차 증가하였으나 발광색은 구동전압에 무관하게 녹색으로 유지하였다. 한편 발광층의 두께를 증가할수록 동작 개시전압이 높아짐을 알 수 있었고 이것은 폴리머층/전극간의 계면에서 간섭효과에 기인한 것으로 사료된다.

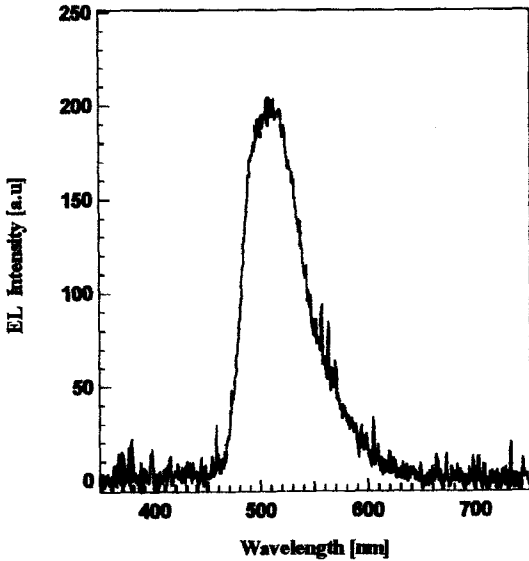


그림 5. glass/ITO/PC:TTA:NIDI:C6(0.08mole%)/Ca(200Å)/Al(200Å)구조의 전계발광 스펙트럼

Fig. 5. EL spectrum of the glass/ITO/PC:TTA:NIDI:C6(0.08mole%)/Ca(200 Å)/Al(200 Å) cells.

그림 6은 glass/ITO/PC(2.5g):TTA(1.5g):NIDI(1g):C6(xmole%)/Ca(200 Å)/Al(200 Å)구조의 C6분자의 도핑농도를 가변할 경우 양자효율을 나타낸 그림이다. 여기서 양자효율은 전류와 광출력의 측정값을 근거로하여 계산한 값을 나타낸 것이며 도핑농도값을 극미량에서 조금씩 증가할수록 양자효율값이 증가하였고 도핑농도가 0.08mole%에서 최대의 양자효율(0.58 %)을 얻었고 이는 도핑하지 않았을 때 보다 약 50배 큰 값이다. 계속하여 도핑농도를 증가하면 양자효율이 다시 낮아짐을 알 수 있다. 도핑농도가 0.08mole%에선 ITO에서 주입된 정공이 정공의 전송특성이 우수한 TTA의 HOMO

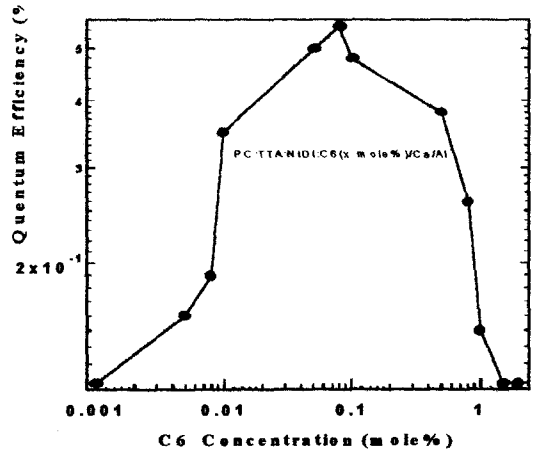


그림 6. glass/ITO/PC(2.5g):TTA(1.5g):NIDI(1g):C6(xmole%)/Ca(200Å)/Al(200Å)구조의 C6농도에 따른 양자효율

Fig. 6. Quantum efficiency of the glass/ITO/PC(2.5g):TTA(1.5g):NIDI(1g):C6(xmole%)/Ca(200 Å)/Al(200 Å) cells by the C6 mole%.

를 빠르게 전달하고 한편, 음극전극에서 들어온 전자는 전자의 전송특성이 우수한 NIDI의 LUMO를 쉽게 전달되어 에너지대역 보다 낮은 C6분자의 HOMO와 LUMO에 각각 뛰어넘어면서 최대로 에너지를 전달하여 재결합이 이뤄져 singlet exciton을 형성하였기 때문이라 사료된다. 그리고 도핑농도가 0.01mole% 이하일 때 주입캐리어들을 충분히 포획할 만큼의 도핑농도에 미치지 못하므로 양자효율이 감소되었다고 사료되며 그리고 1mole% 이상일땐 응집현상으로 인한 exciplex를 형성하기 때문에 양자효율이 감소되었다고 사료된다. 본 연구는 음극전극에서 전자주입을 높이기 위하여 일함수가 낮은 Ca금속을 선택하였지만 Ca는 공기중에서 쉽게 산화되기 때문에 이를 방지하기 위해 Ca위에 Al을 진공증착한 결과 높은 발광효율을 갖는 발광소자를 구현하였다. 향후 이보다 더욱 양자효율을 높이기 위해 CsF/Al로 음극전극을 대체할 경우 더욱 좋은 결과를 얻으리라 사료된다.^[10]

III. 결론

고효율을 갖고 낮은 동작전압에서 안정하게 동작하는 폴리머 녹색발광소자를 구현하였다. 소자의 구조는 glass/ITO/PC:TTA:NIDI:C6/cathode로 다양한 음극전극을 증착하여 비교조사하였다. 높은 양자효율을 얻기

위해 분자분산된 발광층인 박막을 형성한후, exciplex 형성을 피하기 위해 음극전극으로 Ca/Al을 증착할때 가장 높은 양자효율을 얻었다. PL특성과 전류-전압-광출력 및 전계강도 특성을 조사하여 최적의 스펀코팅 조건을 확립하였고 녹색광 색소인 C6의 농도값에 따른 전기적·광학적 특성을 비교분석하여 최대의 양자효율 값을 갖는 C6의 도핑농도값을 확립하였다. 특히 동작개시전압은 기존 폴리머물질들을 사용하여 만든 녹색발광소자보다 훨씬 낮은 2.4V에서 구동하는데 성공하였다. 그리고 종래의 tang은 Alq3에 색소인 C540를 첨가하여 도핑농도에 따른 최대발광파장이 변화함을 밝힌바 있지만, 본 연구에선 PC에 C6를 첨가시 도핑농도를 변화시켜도 최대발광파장이 거의 변화가 없음을 PL과 EL 측정값에서 확인하였다. 다만 C6의 도핑농도 변화에 따른 양자효율이 차츰 증가하여 최대값을 기점으로 하여 다시 낮아지는 현상을 보였다. 따라서 본 연구에선 C6의 도핑농도변화에 의한 최대발광파장이 변화하지 않기 때문에 소자제작이 보다 용이하고 더욱 낮은 구동전압에서 안정하게 동작하며 또 적층구조에 비해 단일층이므로 제조경비가 저렴한 장점이 있다.

참 고 문 헌

- [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, K. Hongawa, K. Okuyama, and K. Nagai, "Bright blue electroluminescence from poly(N-vinylcarbazole)", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 63, No. 19, pp. 2627-2629, 1993.
- [3] Young-Eun Kim, Heuk Park, and Jang-Joo Kim, "Enhanced quantum efficiency in polymer electroluminescence devices by inserting a tunneling barrier formed by Langmuir-Blodgett films", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 69, No. 5, pp. 599-601, 1996.
- [4] L.S. Hung, C.W. Tang, and M.G. Mason, "Enhanced electron injection in organic electroluminescence devices using an Al/LiF electrode", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 70, No. 2, pp. 152-154, 1997.
- [5] M. G. Mason, C.W. Tang et al., "Photoemission Study of Alq3 and Al/LiF/Alq3 interface", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 87, No. 1, pp. 375-379, 2000.
- [6] T. Wakimoto, R. Murayama, K. Nagamiya, Y. Okuda, and H. Nakada, "Organic EL Cells with High Luminous Efficiency", *Applied Surface Science*, Vol. 114, 1997.
- [7] G.E. Jabbour, B. Kippelen, N.R. Armstrong, "Aluminum based Cathode Structure for Enhanced Injection in electroluminescent Organic Devices", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 73, No. 15, pp. 1185, 1998.
- [8] R.F. Service, "Organic Light Emitters Gain Longevity", *Science*, Vol. 273, No. 5277, pp. 878-880, 1996.
- [9] H. Mattoussi, H. Murata, C.D. Merritt, Y. Lizumi, J. Kido, Z.H. Kafafi, "Photoluminescence quantum yield of pure and molecularly doped organic solid films", *J. Appl. Phys.*, Vol. 86, No. 5, pp. 2642-2650, 1999.
- [10] Pongpun Promreun, HwanSool Oh, G. Malliaras, J.C. Scott et al., "Role of CsF on electron injection into a conjugated polymer", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 77, No. 15, pp. 2403-2405, 2000.
- [11] R.H. Friend, P.K.H. Ho, M. Granstrom, N.C. Greenham, "Ultrathin Self-Assembled layers at the ITO Interface to Control Charge Injection and Electroluminescence Efficiency in Polymer Light-Emitting Diodes", *Advanced Materials*, Vol. 10, No. 10, pp. 64-69, 1998.
- [12] Liu Zegang, and Helena Nazare, "White organic light-emitting diodes from both hole and electron transport layers", *Synthetic Metals*, Vol. 111-112, pp. 47-51, 2000
- [13] Z.Q. Gao, C.S. Lee, I. Bello, S.T. Lee, "White light electroluminescence from a hole-transporting layer of mixed organic materials", *Synthetic Metals*, Vol. 111-112, pp. 39-42, 2000
- [14] J. Kido, H. Shionoya, K. Nagai, "Single-layer white light-emitting organic electroluminescent devices based on dye-dispersed poly(N-

- vinylcarbazole)", Appl. Phys. Lett., Vol. 67, No. 16, pp. 2281-2283, 1995.
- [15] A.J. Campbell, D.D.C. Bradley, and D.G. Lidzey, "Space-charge limited conduction with traps in poly(phenylene vinylene) light emitting diodes", J. Appl. Phys., Vol. 82, No. 12, pp. 6326-6332, 1997.
- [16] H. Tokuhisa, Shogo Saito et al., "Electron drift mobility of oxadiazole derivatives doped in polycarbonate", Appl. Phys. Lett. Vol. 66, No. 19, pp. 3433-3435, 1995.
- [17] J. Kido, H. Hongawa, K. Nagai, "White light emitting organic electroluminescent devices using the poly(N-vinylcarbazole) emitter layer doped with three fluorescent dyes", Appl. Phys. Lett., Vol. 64, pp. 815-817, 1994.
- [18] C.Wu, J.C.Sturm, M.E. Thompson., "Efficient organic electroluminescent devices using single layer doped polymer thin films with bipolar carrier transport abilities," IEEE Trans, Electron devices, Vol. 44, No. 8, pp. 1269-1281, 1977.
- [19] C.W. Tang, S.A. VanSlyke, and C.H. Chen, "Electroluminescence of doped organic thin films", J. Appl. Phys., Vol. 65, No. 9, pp. 3610-3616, 1989.
- [20] Byeong-Gyu Roh, Joong-Yeoun Kim, Hwan-Sool Oh, "A Study Characteristics of Organic Light-Emitting Devices with Various Cathodes", the Institute of Electronic Engineers of Korea, Fall Conference 2000, Vol. 23, No. 2, pp. 37-40, 2000.

 저 자 소 개

吳 煥 述(正會員) 論文誌 第37卷 SD編 第12號 參照
 1979. 9~현재 : 건국대학교 정보통신대학 전자공학부
 교수