

論文98-35D-11-7

## 단층 poly(N-vinylcarbazole) 유기물 전기발광 소자의 제작 및 특성

(Fabrication and characteristics for the organic light emitting device from single layer poly(N-vinylcarbazole) )

尹錫範\*, 吳煥述\*\*

(Seok-Beom Yoon and Hwan-Sool Oh)

### 요 약

정공 전달 중합체인 Poly(N-vinylcarbazole) (PVK)와 전자전달 유기물 재료인 2-(4-biphenyl)-5-(t-butyl-phenyl)-1,3,4-oxadiazole (Bu-PBD)에 발광 유기물 색소 Coumarine 6, TPB, Rhodamine B를 각각 도핑한 단층박막 유기물 전기발광 소자를 제작하였다. 스핀 코팅 방법에 의한 단층 구조와 가용성 재료의 사용으로부터 소자제작이 간단하였다. 활성영역은 인듐주석산화물(ITO) 과 알루미늄 전극 사이에 놓인 단층으로 구성하고 있다. 이러한 구조에서 전자와 정공의 전하가 각 전극에서 PVK : Bu-PBD 활성층으로 주입된다. 전압을 인가한 후 발광된 빛의 색은 각각 TPB, C6, Rhodamine B의 유기물 색소에 의해 481nm, 500nm, 585nm 파장을 갖는 푸른색, 초록색 및 오렌지색을 나타내었다. PVK 유기물은 다른 발광 색을 갖는 유기물 색소를 분자 적으로 도핑 함으로서 주요한 중합체로서 사용될 수 있다. 그리고 전기발광 색은 전체 가시광선 파장 내로 조절될 수 있다.

### Abstract

Organic light emitting devices from a single layer thin film with a hole transport polymer, poly(N-vinylcarbazole) (PVK) doped with 2-(4-biphenyl)-5-(4-t-butyl-phenyl)-1,3,4-oxadiazole (Bu-PBD) as electron transporting molecules and Coumarine 6(C6), 1,1,4,4-tetraphenyl-1,3-butadiene (TPB), Rhodamine B as a emitter dye were fabricated. The single layer structure and the use of soluble materials simplify the fabrication of devices by spin coating technique. The active layer consists of one polymer layer that is simply sandwiched between two electrodes, indium-tin oxide (ITO), and aluminum. In this structure, electron and hole inject from the electrodes to the PVK : Bu-PBD active layer. Respectively, Blue, green and orange colored emission spectrum by the use of TPB, C6, Rhodamine B dye emitted at 481nm, 500nm and 585nm were achieved during applied voltages. PVK materials can be useful as the host polymer to be molecularly doped with other organic dyes of the different luminescence colors. And EL color can be tuned to the full visible wavelength.

\*正會員, 公州文化大學 電子通信科

(Kong-Ju National Junior College Dept. of Electro Communication)

\*\*正會員, 建國大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering Konkuk Univ.)

接受日字:1998年5月21日, 수정완료일:1998年10月24日

### I. 서 론

발광 재료로서 유기물을 사용하여 새로운 전기발광 소자<sup>[1]</sup>가 만들어진 이후 지난 몇 년간 유기물 전기 발광 소자 (Organic Electroluminescence Device) 는 높은 발광 특성, 낮은 구동 전압과 다양한 색상을

쉽게 얻을 수 있다는 장점으로 많은 주목을 받아왔다. 특히 유기 전기발광 소자는 전자 시계와 같은 간단한 발광체부터 랩탑 컴퓨터의 평판 디스플레이 등에서 잠재적인 상용 가능성 때문에 많은 연구가 진행 중이다.<sup>[2-5]</sup> 이러한 유기 전기발광 소자는 전기적 에너지가 유기분자의 여기로부터 빛으로 변환된다. 여기 과정은 전극으로부터 유기물 층으로 전자와 홀이 주입되고 유기물 활성층에서 전자와 홀의 재결합을 통하여 엑시톤이 생성된다. 특히 캐소드 전극에서 유입된 전자가 전달되는 전자전달 층, 애노드 전극으로부터의 정공전달 층, 재결합 및 발광 층으로 구성되어 있고, 엑시톤의 생성을 위하여 다양한 유기물이 다층구조를 갖는 소자들이 연구되고 있다.<sup>[6-9]</sup> 특히 전자전달 층은 낮은 일 함수를 갖는 전극으로부터의 강한 전계의 영향으로 전자를 쉽게 받아들일 수 있는 LUMO(Lowest Unoccupied Molecular Orbital) 레벨을 갖는 분자를 선택하여야 한다. 다층 구조는 연속적인 진공 증착 과정을 통하여 얻어지며 각 층의 두께를 조절함으로써 소자의 동작상태가 달라진다. 이러한 다층 구조의 유기 발광 소자는 전자전달층, 여기층, 정공 전달층등으로 구성되어 양자 효율은 우수하나 제작 공정이 복잡하며 각 층의 두께를 조절하기가 용이하지 않다.

한편 단층 구조의 발광 소자는 홀 전달  $\pi$  접합 다중체를 갖는 층으로 이루어지며 다중체 용액을 스핀 코팅하고 100 °C 미만의 분위기에 코팅된 단일 박막 용액을 다결정화 한다. 이러한 단층 구조의 유기 전기발광 소자는 구조가 단순하여 제작과정이 간단하다. I. D. Parker는 MEH-PPV 단층유기물을 사용하여 제작한 유기전기 발광 소자에서 단층 유기물 박막의 성질 및 두께의 조절에 따라 동작 전압을 쉽게 바꿀 수 있다고 주장하였다<sup>[10]</sup>. 또한 J. Kido등은 평판 디스플레이의 후면 광원으로 사용하기 위하여 백색발광을 나타내는 단층 구조의 유기전기 발광 소자를 제작하였다.<sup>[11]</sup>

본 연구에서는 정공 주입층, 전자 주입 층 및 활성 층과 발광 유기물들을 모두 용해하여 스핀 코팅을 한 후 열 변환 과정을 통하여 단층 구조를 갖는 유기 전기발광 소자를 제작하였다.

또한 사용한 정공주입 및 전자주입 유기물은 고정하고 발광 유기물을 바꿈으로써 EL 및 PL의 측정으로부터 가시광선 내에서 쉽게 발광 색을 변화할 수 있음을 설명하였다.

## II. 소자제작

본 연구에서는 단일층 유기물 전기발광소자를 제작하였으며, 그림 1에 그 단면도를 나타내었다. 제작에 사용된 유리는 표면 저항이  $50 \Omega/\square$  인 인듐주석산화물(ITO)이 증착된 코닝 글라스를 사용하였다. 이때 사용한 애노드 전극은 투명하여 단일 유기물 층에 유입된 전자 정공은 유기물층 내에서 재결합에 의해 발광된 빛이 소자의 표면으로 나온다.

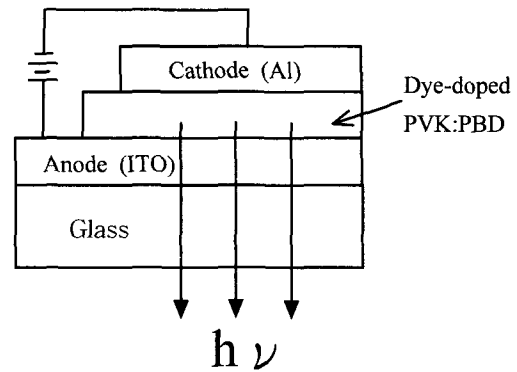


그림 1. 유기물 발광 소자의 단면도

Fig 1. Schematic side view of an organic light emitting diode

그림1에서 Dye doped PVK : PBD는 정공전달 유기물과 전자전달 유기물인 PVK와 PBD를 발광 색상을 나타내는 발광 유기물과 용해하여 만들어진 단일 층이다. 제작에 사용된 캐소드 금속은 알루미늄을 사용하였다. 전체 소자 제작의 공정 흐름도를 그림 2에 나타내었다. 인듐주석산화물이 입혀진 유리판에  $2 \times 2 \text{ mm}^2$  크기로 염산을 사용하여 인듐주석산화물을 식각하여 패터를 만든다. 이때 형성된 패터는 애노드 전극으로 사용된다. 패터 형성된 인듐주석산화물 유리판을 Detergent가 담긴 초음파 용기에 넣어 30초, 3번 세척한 후, 순수에서 Detergent를 제거한다. 세척된 인듐주석산화물 유리판을 50°C의 아세톤 및 에탄올로 3분간 세척한다. 위의 세척 공정은 G. E. Johnson등이 사용한 세척 공정을 이용하였다.<sup>[12]</sup> 활성층에 사용될 유기물은 정공 전달에 사용된 다중체로 Poly(N-vinylcarbazole) (PVK), 전자 전달 유기물은 2-(4-biphenyl)-5-(4-tert-Butylphenyl)-1,3,4-oxadiazole (Bu-PBD), 발광색소 유기물은 전자와 홀의 재결합 과정 중에 발광되는 파장을 갖도록

Coumarin 6 (C6), 1,1,4,4-tetraphenyl-1,3-butadiene (TPB) 및 Rhodamine B를 사용하였다. PVK를 200 mg, Bu-PBD를 (200-x) mg, 유기물 색소는 0.5~1 mg의 양으로 10 ml의 Tetrahydrofuran (THF) 용제에 혼합하여 0.4 μm 폴리프로필렌 필터에 여과시킨다. 여과된 혼합 유기물을 공기 중에서 패턴 형성된 인듐주석산화물 유리판 위에 3000 rpm으로 30초동안 스핀 코팅하여 단층 유기물 박막을 얻는다. 스핀코팅 후 단층 유기물 박막이 코팅된 인듐주석산화물 유리판을 1시간, 60°C의 오븐에 넣어 박막을 다결정화 시킨다. Tokito 등은 X선 회절 측정을 통하여 열처리과정을 거친 유기물이 다결정화함을 밝혔다.<sup>[13]</sup> 이때 얻어진 혼합유기물층 막의 두께는 Tencor 알파스텝 200 장비를 이용하여 측정된 결과 2000 ~ 3000Å이었다. 단층 유기물 박막을 형성한 후, CVC SC4500 Thermal/E-gun 진공증착 시스템을 사용하여 2000Å의 알루미늄 캐소드 전극을 혼합유기물 박막층 위에 증착하였다. 이때 알루미늄 증착속도는  $1 \times 10^{-7}$  Torr에서 10Å/s 이내에서 조절하였다.

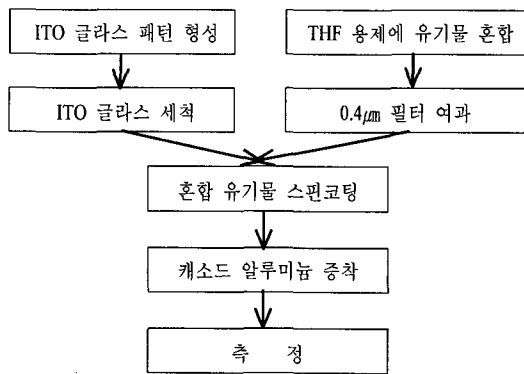


그림 2. 소자 제작 공정 흐름도  
Fig. 2. The flow chart of a device fabrication

그림 3은 PIV(Photocurrent - Current - Voltage) 시스템 장치도를 나타내었다. 전기적 측정을 위하여 HP41501 펄스발생기와 HP4155A 반도체 파라미터 분석장비를 컴퓨터와 연결하여 자동화하였고 UDT PIN10D 실리콘 포토다이오드를 사용하여 소자의 광전류를 측정하였으며 PIV 시스템으로 명명하였다. 또한 동작전압 인가시 전류주입에 따른 발광특성의 광학적 측정을 위해 EL (Electroluminescence)

및 PL (Photoluminescence) 측정 장비를 사용하였다. 측정시 사용한 여기광원은 457.9 nm 의 아르곤 이온 레이저이며 초점거리 f가 0.75mm인 SPEX 모노크로메터를 사용하였다.

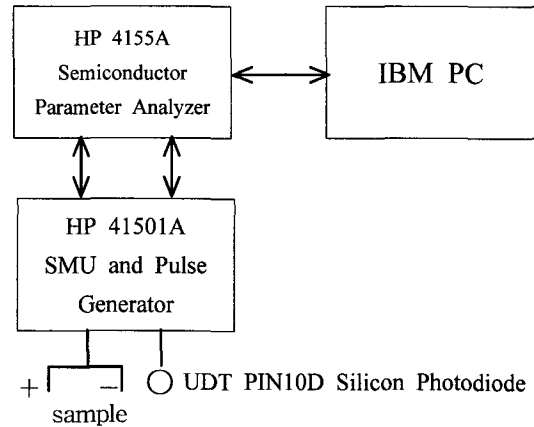


그림 3. PIV 시스템 장치도  
Fig. 3. The Block diagram of the PIV system

일반적으로 유기 전기발광소자의 캐소드 전극으로 사용하는 Ca는 낮은 일함수를 가지고 동작 전압이 낮은 장점이 있으나, 공기에 치명적인 결함을 가지고 있으며 금속과 유기물 박막의 계면에서 반응이 일어나는 단점을 지니고 있어 밀봉 상태의 아르곤 가스 분위기에서 소자의 측정이 이루어진다<sup>[14]</sup>. 본 연구에서는 제작된 유기물 전기발광 소자의 캐소드는 공기에 안정된 전극으로 동작되는 알루미늄을 사용하였고, 상온의 공기 중에서 제작된 소자를 측정하였다.

### III. 측정 및 고찰

그림 4에서는 PVK : Bu-PBD에 495 nm 초록색 발광 파장을 갖는 C6유기색소가 혼합된 단층 유기물 전기발광 소자의 PIV 결과로써 전류-전압에 따른 전형적인 PN 접합 다이오드의 특성을 나타내고 있으며 동작전압 이상에서 발광에 따른 광전류를 얻었다. 이때 문턱전압은 19 V 이었고, 26 V에서부터 발광 파장이 측정되었으며 인가전압의 증가에 따른 주입전류의 증가에 따라 발광세기가 증가하였다. 이러한 특성은 I. D. Parker등의 결과와 조금 다르게 나타났다. 그의 보고에서는 임계전압이 5 V이내에서 측정되었으며 이러한 결과는 Ca 캐소드 전극을 사용하였으며 단층 유기물 박막은 MEH-PPV를 사용하였다.<sup>[10]</sup>

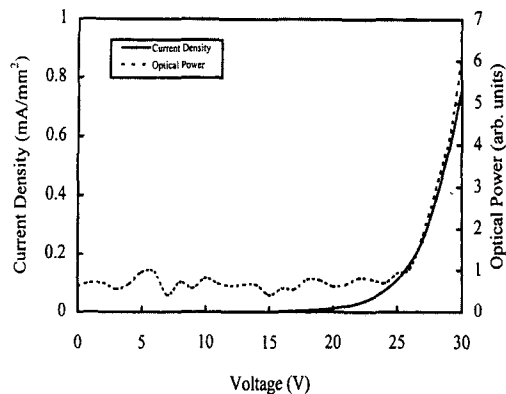


그림 4. ITO/PVK : Bu-PBD : C6/Al 유기물 발광소자의 광전류-전류-전압특성

Fig 4. Photocurrent - Current - Voltage characteristics of a ITO/PVK : Bu-PBD : C6/Al Organic Light Emitting Diode

그림 4에서 순방향 전압의 인가로 애노드와 캐소드 전극으로부터 주입된 전자와 정공은 터널링 현상으로 설명되며 일반적인 터널링은  $I \propto V^2 \exp(-b/V)$ 로 나타낼 수 있고 이때  $b$ 는 터널링 장벽 및 형태에 의존하는 파라미터이다<sup>[10]</sup>. PVK는 정공을 포획하지 않는 정공 전달체로써 금속 전극으로 유입된 정공은 캐소드 전극으로부터 유입된 전자가 없다면 재결합 없이 캐소드에 도달된다.<sup>[15]</sup> 그러나 전자전달체 유기물인 Bu-PBD를 이용함으로써 캐소드 금속전극으로부터 유입된 전자에 의해 혼합 유기물층에 가해진 전기장 아래서 이동된다. 발광 유기체의 여기 현상은 완전히 해석되지 않고 있으나 2가지의 가능한 해석이 발표된 바 있다. 하나는 PVK 또는 Bu-PBD 등의 전하 전달체로부터 Förster형 공진 에너지 전달에 따른 발광 여기체로의 에너지 전달로 나타난다. 이러한 경우에 여기된 에너지는 PVK 및 Bu-PBD로부터 전하전달 유기체에 비하여 낮은 여기에너지를 갖는 C6로 전달된다<sup>[16]</sup>. 다른 경우는 캐리어포획 현상으로 발광 유기체는 전자 및 정공의 전하를 포획하고 전하의 재결합에 사용된다. 발광 유기물의 이온화 포텐셜 (Ionization Potential)  $I_p$ 는 전하전달 유기물보다 낮고 가 전자친화력 (Pseudo Electron Affinities)  $E_a$ 는 발광유기물이 전하전달 유기물보다 더 높다<sup>[11]</sup>. 본 실험에서 사용한 C6의 이온화 포텐셜은 5.5 eV로써 PVK의 5.8 eV 및 Bu-PBD의 5.9 eV 보다 낮고 C6의 가 전자 친화력  $E_a$ 는 3.2 eV로써 PVK의 2.3 eV 및 Bu-PBD의 2.4 eV 보다 높다. 따라서 C6,

PVK 및 Bu-PBD의 캐리어 전달 분자의 가전자친화력과 이온화포텐셜의 비교로부터 단층 구조의 발광 소자에서 PVK 및 Bu-PBD는 캐리어의 전달을 이루고 도판트는 캐리어를 포획하고 캐리어의 재결합을 통해 여기가 이루어진다. 즉 정공은 PVK의 HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) 내에서 분자사슬 간의 건너뛰기(Hopping)를 통해 반대편 전극으로 진행하다가 혼합 유기물내의 발광 유기물체의 HOMO로 포획되고 전자는 Bu-PBD의 LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital)로부터 발광 유기체의 LUMO로 포획되어 발광 유기물 C6의 어느 부분에서 만나 재결합하고 C6의 파장을 나타낸다. 그림 4의 광전류 측정에서 측정된 광전류가 0V에서 구동전압 부근까지 값을 나타낸 것은 암전류에 의한 결과이다.

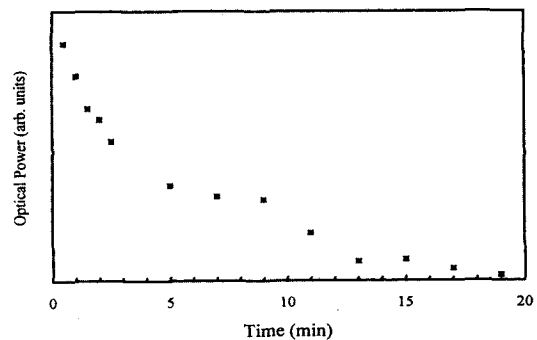


그림 5. 30 V 구동전압 인가시 시간 경과에 따른 광전력 출력

Fig 5. Time evolution of the optical power output under continuous voltage driven from 30 V.

그림 5는 일반 공기 중에서 30 V를 소자에 인가하고 주기적으로 소자의 발광면위에 100 mm<sup>2</sup> 면적의 실리콘 광다이오드를 설치하여 광전류를 측정하였다. 그림 5에서 광전류가 5분 이내에서 급격히 감소하고 약 20분 후에는 발광 특성을 얻을 수가 없었다. L. M. Do 등은 캐소드 알루미늄을 갖는 다층구조 유기물 박막 소자에서 25 V의 동작 전압에서 180분의 소자수명을 발표하였다. 본 논문의 실험 결과와 비교하여 장시간의 소자수명을 나타내었으나 이는 다층구조 소자 및 낮은 동작전압의 현상으로 사료된다. 한편 소자의 성능저하는 비발광 면적의 증가로 실제 동작 면적이 감소한다. 이러한 발광특성의 급격한 감소는 높은 전압 상태에서 시간이 경과할 경우에 낮은 양자 효율로 인하여 유기물 층이 높은 열적 성분을 지니

게 되거나 유기물 박막내의 높은 전기장의 영향으로 소자의 성능저하를 나타낸다. 특히 캐소드 금속 면의 테두리 부분은 가운데 영역보다 더 높은 전계를 갖게 되므로 소자의 감쇠에 영향을 준다. 또한 공기 중에서 소자를 동작시킬 경우 공기중의 산소들이 알루미늄과 반응하여 알루미늄을 산화시킨다. 또한 전체 소자 제조 공정이 공기 중에서 진행되므로 유기물 박막층과 캐소드 알루미늄 금속 계면은 많은 산소 및 물분자들을 갖고 있어 유기물 박막층과 결합하여 유기물층을 서서히 산화시킨다. 이러한 산화 현상으로 박막 표면에 흑점이 늘어나고 EL의 밝기가 감소함을 관찰하였다<sup>[17]</sup>.

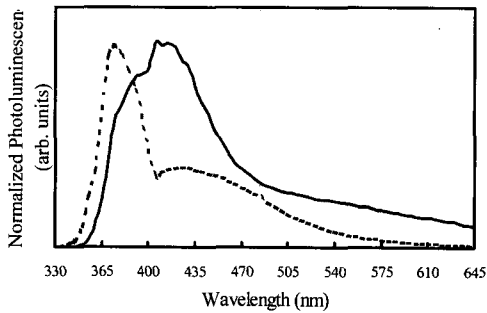
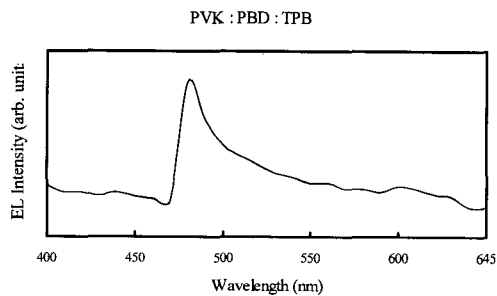
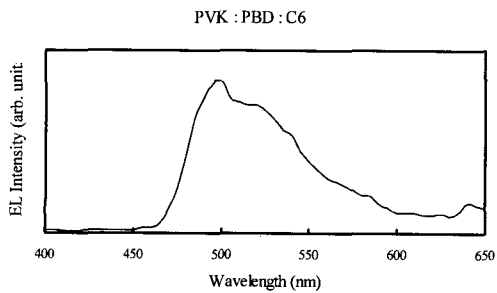


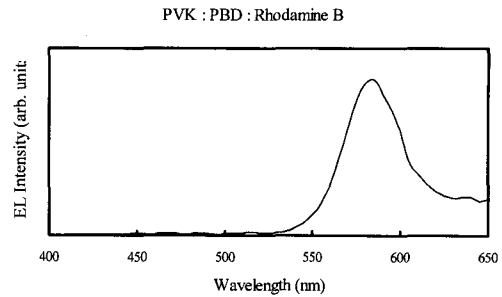
그림 6. PVK (직선) 와 Bu-PBD (점선) 의 PL 스펙트럼  
Fig 6. Photoluminescence spectrum of PVK (solid curve) and Bu-PBD (dashed curve)



(a)



(b)



(c)

그림 7. (a) TPB (b) C6 (c) Rhodamine B 발광 색소를 갖는 PVK : Bu-PBD 소자의 전기발광특성  
Fig 7. Electroluminescence spectrum from PVK : Bu-PBD with emitter dyes  
(a) emitter dye : TPB (b) emitter dye : C6  
(c) emitter dye : Rhodamine B

그림 6은 유리기판 위에 각각 3000 rpm으로 30초 동안 스펀공정으로 형성된 순수 PVK 유기물 박막과 Bu-PBD 유기물 박막의 PL 스펙트럼을 나타내었다. 그림에서 실선의 PVK 피크 값은 420 nm이다. 또한 점선의 Bu-PBD 피크값은 375 nm이다. 한편 그림 7의 (a), (b) 및 (c) 는 PVK : Bu-PBD의 혼합 유기물에 각각 TPB, C6, Rhodamine B의 발광 색소를 갖는 유기 발광 소자의 전기발광(Electroluminescence)특성을 순수 PVK 및 Bu-PBD와 함께 나타내었다. (a) 에서는 TPB에 의한 481 nm의 초록에 가까운 푸른파장을 나타내고 있고 (b) 에서는 C6에 의한 500 nm의 초록색을 갖는 특성을 얻었으며 (c)에서는 Rhodamine B로부터 585 nm의 오렌지 파장의 전기발광 특성을 얻었다. Kido등은 PVK/TAZ/AIQ를 갖는 3층 구조의 유기물 전기발광 소자에서 측정된 순수 PVK의 PL 및 EL 스펙트럼이 410 nm 부근에서 같은 파장의 피크 값을 지니고 있어 PVK가 푸른색을 갖는 발광층으로 사용되었음을 밝힌 바 있다<sup>[18]</sup>. 그러나 본 실험에서는 순수 PVK에 의한 420 nm 부근에서 측정된 PL 파장이 EL 측정에서는 나타나지 않았으며, 유기물 색소인 TPB, C6 및 Rhodamin B에 의한 파장이 얻어졌다. 이는 PVK 유기물이 재결합 과정에서 발광파장에 영향을 나타내지 않았고 정공 전달에 기여하고 있음을 의미한다. 또한 그림 6에서 375 nm의 순수 Bu-PBD 박막의 PL 최대치도 혼합 유기물 전기 발광소자의 EL스펙트럼에서는 나타나지 않았다. 이는 혼합 유기물에서

Bu-PBD가 발광에 기여하지 않고 전자전달체로 사용된다. 따라서 정공 전달체와 전자 전달체 유기물을 원하는 유기물 색소와 혼합하면 가시광선내의 파장의 빛을 얻을 수 있음을 명확히 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 캐리어 전달 유기물로서 정공 전달의 PVK 및 전자 전달의 Bu-PBD, 그리고 유기물 색소로서 각각 TPB, Rhodamin B, C6를 사용하였다. 본 연구에서는 진공 증착 방법에 의한 다층구조의 유기물 전기발광 소자 제작이 아닌 스펀코팅에 의한 유기물 박막 형성에 의한 단층구조의 유기물 전기발광 소자를 제작하였다.

제작된 소자의 전기적, 광학적 측정은 아르곤이나 질소 분위기가 아닌 일반 공기 중에서 하였다. 측정된 결과로부터 동작 전압을 오랜 시간동안 지속 할 경우 소자의 성능이 저하됨을 알 수 있었고, 이는 공기중의 산소 성분이 소자의 수명에 영향을 미치므로 향후 유기물 전기 발광 소자를 공기로부터 보호할 수 있는 보호막의 연구가 진행되어야 할 것이다.

한편 이러한 단층 구조의 유기물 전기발광 소자는 제작 공정이 간단하며, 전자 및 정공 전달 유기물에 유기물 색소를 혼합하여 소자를 제작할 경우 간단히 유기물 색소만을 바꿈으로써 쉽게 다른 파장의 색을 나타내는 발광 소자를 쉽게 얻을 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] C. W. Tang, and S. A. Van Slyke, "Organic electroluminescence diodes," Appl. Phys. Lett. 51, pp. 913-915, 1987.
- [2] D. Braun, and A. J. Heeger, "Visible Light Emission from Semiconduction Polymer Diodes," Appl. Phys. Lett. 58(18), pp. 1982-1984, 1991.
- [3] M. Matsuura, H. Tokailin, M. Eida, C. Hosokawa, Y. Hironaka, and T. Kusumoto, "Performance of RGB Multi-Color Organic EL Display," ASIA Display'95 proceedings S11-2, SID, Hamanatsu, 1995.
- [4] Dirk Ammermann, Achim Bohler, Siegfried Dirr, Hans-Hermann Johannes, and Wolfgang Kowalsky, "Multilayer Organic Light Emitting Diodes for Flat Panel Displays," AEU Int. J. Electron. Commun. 50, no. 5, pp. 327-333, 1996.
- [5] C. W. Tang, "Organic Electroluminescent Materials and Devices," Information Display 10, vol. 12, pp. 16-19, 1996.
- [6] Eichi Aminaka, Tetsuo Tsutsui, and Shogo Saito "Electroluminescent Behaviors in Multilayer Thin-Film Electroluminescent Devices Using 9,10-Bisstyrylanthracene Derivatives," Jpn. J. Appl. Phys. vol. 33 pp. 1061-1068, 1994.
- [7] Hiroyuki Suzuki, Harald Meyer, and Satoshi Hoshino, "Electroluminescence from multilayer organic light-emitting diodes using poly(methylphenylsilane) as hole transporting material," J. Appl. Phys. 78 (4), pp. 2684-2690, 1995.
- [8] Mitsuyoshi Onoda, and katsumi Yoshino, "Fabrication of self-assembled multilayer heterostructure of poly(p-phenylene vinylene) and its use for an electroluminescent diode," J. Appl. Phys. 78 (7), pp. 4456-4462, 1995.
- [9] Hiroyuki Suzuki, and Satoshi Hoshino, "Behavior of charge carriers and excitons in multilayer organic light-emitting diodes made from a polysilane polymer as monitored with electroluminescence," J. Appl. Phys. 79(2), pp. 858-865, 1996.
- [10] I. D. Parker "Carrier tunneling and device characteristics in polymer light-emitting diodes," J. Appl. Phys. 75(3), pp. 1656-1666, 1994.
- [11] J. Kido, H. Shionoya, and K. Nagai, "Single-layer white light-emitting organic electroluminescent devices based on dye-dispersed poly(N-vinylcarbazole)," Appl. Phys. Lett. 67(16), pp. 2281-2283, 1995.
- [12] G. E. Johnson, K. M. Mcgrane, and M. Stolka "Electroluminescence from single layer molecularly doped polymer films," Pure & Appl. Chem., vol. 67 pp. 175-182, 1995.

- [13] Shizuo Tokido, and Yasunori Taga, "Organic electroluminescent devices fabricated using a diamine doped MgF<sub>2</sub> thin film as a hole-transporting layer," *Appl. Phys. Lett.* 66(6), pp. 673-675, 1995.
- [14] Y. Yang, Q. Pei, and A. J. Heeger "Efficient blue polymer light-emitting diodes from a series of soluble poly(paraphenylene)s," *J. Appl. Phys.* 79(2), pp. 934-939, 1996.
- [15] M. Stolka, J. F. Yanus, and D. M. Pai "Hole Transport in solid solutions of a Diamine in Polycarbonate," *J. Phys. Chem.*, 88, pp. 4707-4714, 1984.
- [16] C. W. Tang, S. A. Van Slyke, and C. H. Chen, "Electroluminescence of doped organic thin films," *J. Appl. Phys.* 65, pp. 3610-3616, 1989.
- [17] L. M. Do, E. M. Han, Y. Niidome, and M. Fujihira "Observation of degradation processes of Al electrodes in organic electroluminescence devices by electroluminescence microscopy, atomic force microscopy, scanning electron microscopy, and Auger electron spectroscopy," *J. Appl. Phys.* 76, pp. 5118-5121, 1994.
- [18] Junji Kido, Kenichi Hongawa, Katsuro Okuyama, and Katsutoshi Nagai "Bright blue electroluminescence from poly(N-vinylcarbazole)," *Appl. Phys. Lett.* 63, pp. 2627-2629, 1993.

---

 저 자 소 개
 

---

尹錫範(正會員) 第 35卷 D編 第 9號 參照  
 현재 공주문화대학 전자통신과 조교  
 수

吳煥述(正會員) 第 35卷 D編 第 9號 參照  
 현재 건국대학교 전자공학과 정교수