



C545T가 첨가된 OLED 소자의 발광특성

주성후, 양재웅*

대진대학교 공과대학 신소재공학과

The Luminescent Characteristics of C545T Doped OLED Devices

Sung Hoo Ju, Jae Woong Yang*

Department of Advanced Materials Science and Engineering, Daejin University,
 Seondan-dong, Pocheon-si, Kyonggi-do 487-711, Korea

(Received December 13 2006 ; accepted January 24 2007)

Abstract

To investigate the characteristics of green light-emitting OLED device, C545T material with Alq₃ was doped in the OLED device of ITO(1500)/2-TNATA(400 Å)/NPB(80 Å)/Alq₃:C545T(160 Å)/Alq₃(240 Å)/LiF(3 Å)/Al(2400 Å) structure, which was used as a activator at the respective concentration of 0.5 vol.%, 1 vol.%, 2 vol.% and 3 vol.%. It was observed from the experiments that the device efficiency firstly increased with the increase of C545T concentration and the maximum efficiency of 10.9 cd/A and 4.28 lm/W was obtained at C545T concentration of 1 vol.%, and then the device efficiency decreased as the C545T activator concentration increased above 2 vol.% contents, while the longest lifetime of over 750 hours was obtained at C545T concentration of 1 vol.%.

Keywords: OLED, Green, Efficiency, Lifetime, C545T

1. 서 론

정보화시대의 발달에 따라 평판 디스플레이의 중요성이 갈수록 증가하고 있고, 특히 OLED(Organic Light Emitting Diodes)는 평판 디스플레이에서도 차세대 디스플레이로서 주목받고 있어 많은 연구자들이 관심을 기울이고 있다¹⁻⁴⁾. OLED 소자에서 색을 구현하는 방법은 발광층으로 사용하는 Host 물질 자체에서 적색, 녹색, 청색의 빛을 발광하도록 하는 방법과 발광층에 다양한 종류의 활성제를 사용하여 적색, 녹색, 청색의 빛을 발광하도록 하는 방법이 있다. 이 두 가지 방법 중 후자의 경우가 발광효율이 높고 색순도가 우수하며 보다 안정된 발광특성을 갖고 있어 많이 사용되고 있다⁵⁻⁸⁾.

본 논문에서는 활성제로 C545T⁸⁾를 첨가한 녹색 발광 OLED 소자의 발광특성을 조사하기 위하여 ITO(1500 Å)/2-TNATA(400 Å)/NPB(80 Å)/Alq₃:C545T

(160 Å)/Alq₃(240 Å)/LiF(3 Å)/Al(2400 Å)의 구조를 유지하며 C545T의 농도를 0.5 vol.%, 1 vol.%, 2 vol.%, 3 vol.%로 변화시키며 OLED 소자를 제작하였다. 제작한 소자는 I-V-L(전류-전압-휘도) 및 발광스펙트럼 조사를 통하여 발광효율을 구하였으며, 또한 수명측정을 위하여 인가전압에 따른 소자의 발광휘도가 50%가 되는 시간을 측정하였다.

2. 실험 방법

OLED 소자를 제작하기 위하여 유리기판 위에 두께가 1500 Å이고 면저항이 10 Ω/□인 ITO(Indium Tin Oxide) 박막을 양극전극(Anode)으로 사용하였다. 양극전극위에 10⁻⁷ torr의 진공도에서 정공주입층(HIL)으로 2-TNATA를 1.5 Å/sec의 증착속도로 400 Å의 두께를 증착하였으며, 정공수송층(HTL)으로는 NPB를 1.5 Å/sec의 증착속도로 80 Å의 두께를 증착하였다. 발광층(EML)으로는 Alq₃를 1.5 Å/sec의 증착속도로 160 Å을 증착하였다. 발광층을 증

*Corresponding author. E-mail : jwyang@daejin.ac.kr

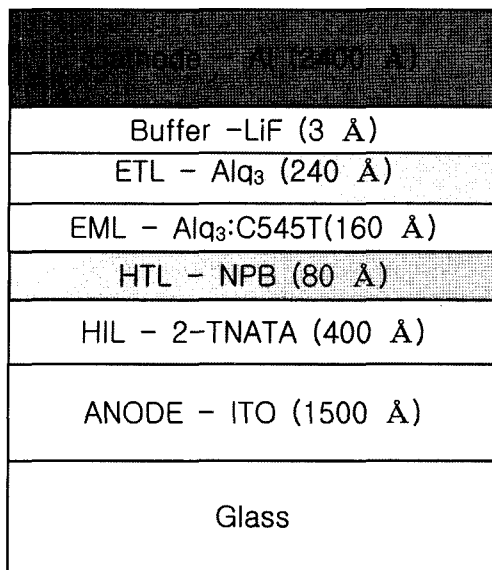


Fig. 1. Structure of OLED device.

작하는 동안, 동시 증착법에 의하여 C545T를 각각 0.5 vol.%, 1 vol.%, 2 vol.%, 3 vol.%가 첨가되도록 증발량을 조절하며 박막을 형성하였다. 전자수송층(ETL)으로는 Alq₃를 1.5 Å/sec의 증착속도로 240 Å을 증착하고, 완충층(Buffer)으로 LiF를 3 Å 두께로 증착하였다. 마지막 증착 단계로 음극전극(Cathode)은 Al을 사용하였으며 5 Å/sec의 증착율로 2400 Å을 증착하여 소자를 제작하였으며 최종 제작된 OLED 소자의 구조를 그림 1에 나타내었다.

제작된 소자를 측정하는 동안 외부의 산소 및 수분의 영향으로부터 보호하기 위하여 접착제를 사용하여 소자의 후면부에 흡습제를 포함하는 금속 캡슐을 부착하였다. 제작된 OLED 소자를 발광시키기 위하여 맥사이언스사(한국)의 전원공급장치를 사용하여 70 Hz의 진동수를 가지는 펄스파(Pulse wave)와 전원이 인가된 Duty 비율이 5%가 되도록 조절된 전원을 사용하였다. 제작된 소자의 인가전압에 따른 발광휘도와 발광스펙트럼 및 색좌표는 Minolta Co.(Japan)의 CS-1000을 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

ITO(1500 Å)/2-TNATA(400 Å)/NPB(80 Å)/Alq₃:C545T(160 Å)/Alq₃(240 Å)/LiF(3 Å)/Al(2400 Å)의 구조로 OLED 소자를 제작하여 소자의 발광특성을 조사하였다. 제작한 OLED 소자의 ITO에 (+) 전압을 인가하고 Al에 (-) 전압을 인가하여 인가전압에 따른 소자에 흐르는 전류밀도의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 소자 제작 시 발광층으로 사용한 Alq₃에

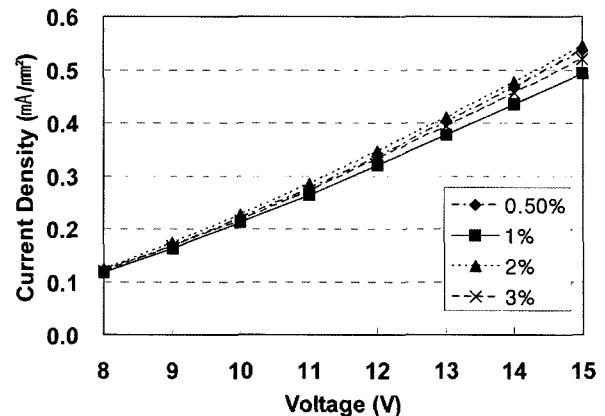


Fig. 2. Current density versus applied voltage of OLED devices.

발광의 활성제로 첨가한 C545T의 영향을 분석하기 위하여 C545T의 농도를 0.5 vol.%, 1 vol.%, 2 vol.%, 3 vol.%로 바꾸어 가며 제작한 각각의 OLED 소자에 대하여 인가전압을 8 V에서부터 15 V까지 변화시키며 전류밀도를 측정하였다. 인가된 전압이 증가함에 따라 소자에 흐르는 전류는 모든 경우에 선형적으로 증가하였으며 활성제로 첨가된 C545T의 농도에 따라 증가의 폭에 차이가 있음을 알 수 있다. 8 V가 인가되었을 때 각 소자에 흐르는 전류밀도는 0.5 vol.% (0.121 mA/mm²), 1 vol.% (0.118 mA/mm²), 2 vol.% (0.125 mA/mm²), 3 vol.% (0.119 mA/mm²)로 차이가 그렇게 크지 않으나, 15 V가 인가되었을 때 OLED 소자에 흐르는 전류밀도는 0.5 vol.% (0.535 mA/mm²), 1 vol.% (0.493 mA/mm²), 2 vol.% (0.545 mA/mm²), 3 vol.% (0.520 mA/mm²)의 전류가 흐르게 되어 소자에 흐르는 전류의 차이가 증가하고 있다.

그림 3은 제작한 OLED 소자의 발광 특성을 나타낸 것이다. OLED 소자에 전압을 8 V에서부터 15 V까지 증가시키며 인가하여 소자에 인가된 각

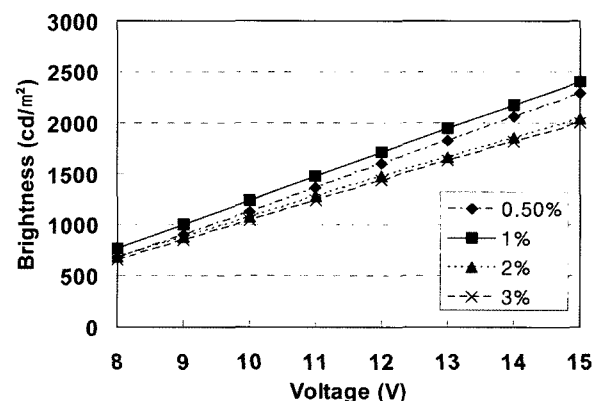


Fig. 3. Brightness versus applied voltage of OLED devices.

전압에서의 발광휘도를 측정하였다. 8 V에서 각 소자의 발광휘도는 0.5 vol.% (679.3 cd/m²), 1 vol.% (771.9 cd/m²), 2 vol.% (684.6 cd/m²), 3 vol.% (655.4 cd/m²)의 발광휘도를 나타내고 있고, 15 V에서 각 소자의 발광휘도는 0.5 vol.% (2284 cd/m²), 1 vol.% (2391 cd/m²), 2 vol.% (2034 cd/m²), 3 vol.% (1999 cd/m²)를 나타내었다. OLED 소자에 인가한 전압을 8 V에서부터 15 V로 증가시키며 따라 발광휘도는 선형적인 비례 관계를 유지하며 증가하고 있음을 알 수 있었다. 발광휘도의 측정 결과, 모든 인가전압에 대하여 1 vol.%의 C545T를 첨가한 경우에 가장 높은 발광휘도를 나타내고 있고, 3 vol.%의 C545T를 첨가한 경우에 가장 낮은 발광휘도를 나타내고 있다. 그림 2의 결과와 비교하여 보면 C545T를 1 vol.% 첨가한 경우에 소자에 흐르는 전류는 가장 적은 값을 갖는 반면에, 발광휘도는 가장 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 1 vol.% 첨가의 경우, 적은 전류로 높은 발광휘도를 얻게 되어 발광효율이 가장 높을 수 있다는 것을 제시하고 있다.

그림 4는 제작된 OLED 소자에서 측정된 인가전압에 따른 그림 2의 전류 소모량과 그림 3의 발광휘도로부터 계산한 전류 효율을 나타낸 것이다. 제작한 소자의 개구율이 60%이므로 전류에 대한 발광효율은 다음 식을 사용하여 계산할 수 있다.

$$\eta(\text{cd/A}) = \frac{\text{Brightness (cd/m}^2\text{)}}{\text{Current Density (mA/mm}^2\text{)} \times 0.6}$$

위의 식을 사용하여 인가전압에 따른 전류 발광 효율을 계산한 결과, OLED 소자에 인가한 전압이 8 V인 경우 0.5 vol.% (9.37 cd/A), 1 vol.% (10.9 cd/A), 2 vol.% (9.15 cd/A), 3 vol.% (9.15 cd/A)를 나타내고 있다. 따라서 활성제로 C545T를 1 vol.% 첨가한 경우에 10.9 cd/A의 가장 높은 효율을 보이고

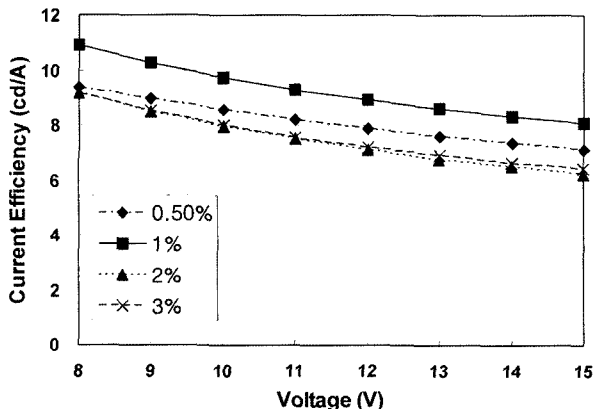


Fig. 4. Current efficiency versus applied voltage of OLED devices.

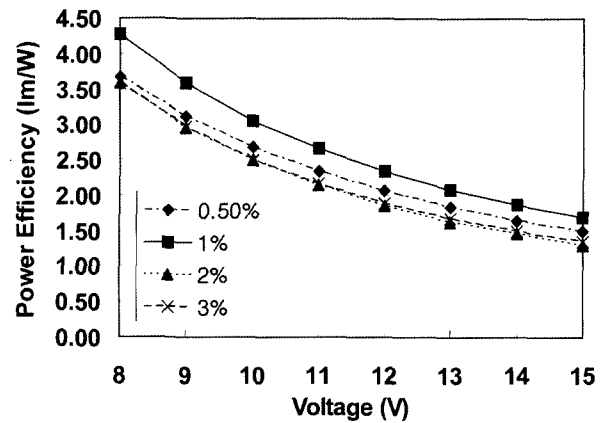


Fig. 5. Power efficiency versus applied voltage of OLED devices.

있음을 알 수 있다.

그림 5는 그림 2에서 측정된 OLED소자의 인가전압에 따른 전류밀도와 그림 3에서 측정된 인가전압에 따른 발광휘도의 값으로부터 계산한 전력 소모에 대한 발광효율을 나타낸 것이다. 전력 소모에 대한 발광효율은 제작된 소자의 개구율이 60%이므로 다음의 식으로부터 계산되어진다.

$$\eta(\text{lm/W}) = \frac{\pi \times B(\text{cd/m}^2)}{\text{Current Density (mA/mm}^2\text{)} \times \text{Voltage(V)} \times 0.6}$$

위의 식을 사용하여 인가전압에 따른 전력 발광 효율을 계산한 결과, OLED 소자에 인가한 전압이 8 V인 경우 0.5 vol.% (3.68 lm/W), 1 vol.% (4.28 lm/W), 2 vol.% (3.59 lm/W), 3 vol.% (3.59 lm/W)의 값을 갖고 있다. 그림 4에서와 마찬가지로 C545T를 1 vol.% 첨가한 경우에 4.28 lm/W로 가장 높은 발광효율을 보이고 있다. 이 결과는 그림 4의 결과에서 보여주고 있는 전류 소모량에 대한 발광효율과 거의 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

또한 그림 4와 그림 5에서 OLED소자에 인가된 전압이 증가함에 따라 발광효율이 점차 감소하고 있는 것을 볼 수 있다. 이 현상은 인가전압의 증가에 따라 소자 내에 공급되는 전류의 양은 증가하게 되나, 소자에 공급된 전자들이 충분히 발광에 기여하지 못하여 전류에 대한 소자의 효율은 점차 감소하는 것으로 판단된다.

그림 6은 Alq₃에 발광의 활성제로 사용하는 C545T를 각각 0.5 vol.%, 1 vol.%, 2 vol.%, 3 vol.% 첨가한 경우에 대하여 인가전압 8 V에서 그림 4의 전류 발광효율과 그림 5의 전력 발광효율을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 전류에 대한 발광효율은 0.5 vol.% 첨가한 경우에서부터 1 vol.%를 첨가한 경우까지 증가하여 최대값을 나타낸 후, 첨가

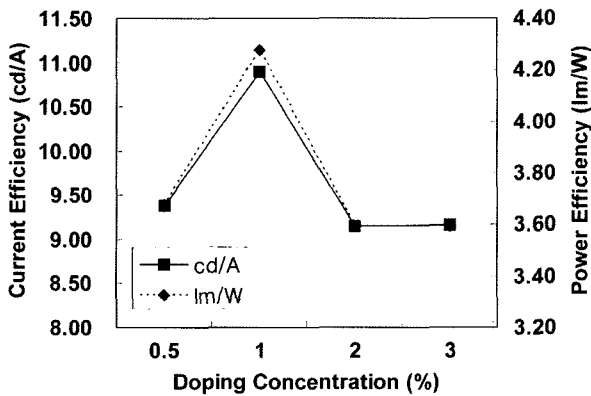


Fig. 6. Current efficiency and power efficiency versus doped C545T concentration of OLED devices.

량이 2 vol.%와 3 vol.%로 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있으며 전력에 대한 발광효율 또한 유사한 경향을 나타내고 있다. 이러한 현상은 C545T의 첨가량이 증가함에 따라 활성제의 밀도가 증가하게 되어 발광확률이 증가함으로써 발광휘도 및 발광효율은 C545T의 농도가 증가함에 따라 증가한다. 그러나 1 vol.%의 C545T가 첨가되었을 때 발광 확률과 에너지 전이 확률이 균형을 이루게 되어 최대 발광휘도 및 발광효율을 나타내게 되고, 그 이상의 C545T가 첨가 될 경우에는 발광휘도 및 효율이 다시 감소하게 되는 것으로 판단된다. 이러한 감소 현상은 임계농도 이상의 C545T가 첨가되면 에너지 전이 확률이 발광확률을 초과하게 되어 활성제로서 역할을 하지 못하고, 오히려 흡수의 중심으로 작용하게 되어 발광세기가 감소하는 것으로 설명할 수 있다⁹⁾.

그림 7은 OLED 소자의 발광층에 C545T의 농도를 0.5 vol.%, 1 vol.%, 2 vol.%, 3 vol.% 첨가한 경우의 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 각각의 농도에 대하여 최대값을 가지는 파장은 515 nm, 520 nm, 525 nm, 520 nm의 값을 가지고 있어 농도의 증가

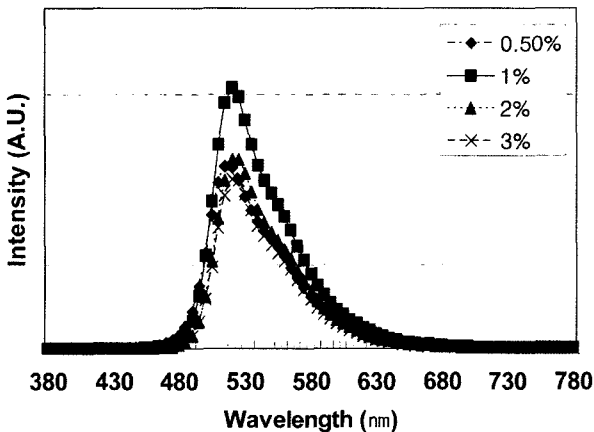


Fig. 7. Emission spectra of OLED devices.

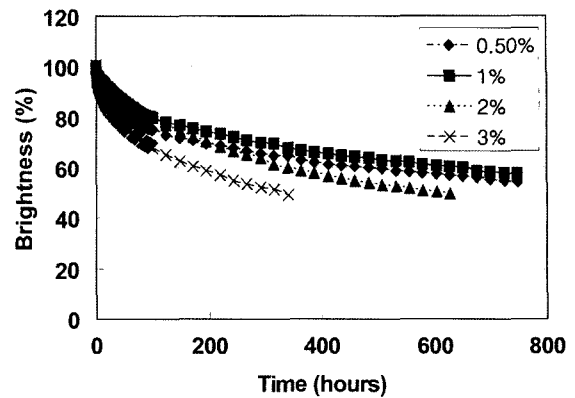


Fig. 8. Brightness versus driving times of OLED devices.

에 따라 발광 파장이 장파장으로 이동하는 경향이 있으나, 3 vol.%를 첨가한 경우에는 다시 단파장으로 이동하고 있어 변화에 대한 일정한 경향성을 보이고 있지는 않은 것으로 판단된다. 또한 C545T를 0.5 vol.%, 1 vol.%, 2 vol.%, 3 vol.%를 첨가한 OLED 소자의 발광 색좌표는 각각 (0.2952, 0.6313), (0.3032, 0.6425), (0.3107, 0.6450), (0.3070, 0.6463)의 값으로 약한 노란색을 띠고 있는 초록색을 나타내고 있으며 y 좌표 값은 농도의 증가에 따라 증가하고 있음을 알 수 있다.

그림 8은 OLED 소자에 전압을 인가하고 발광되는 발광의 세기의 변화를 시간에 따라 측정된 결과이다. 초기 휘도의 세기를 100으로 하여 측정된 결과, 0.5 vol.%와 1 vol.%의 C545T를 첨가한 경우에는 750시간이 경과한 후에도 초기 휘도 대비 50% 이상의 밝기를 나타내고 있으나 2 vol.%를 첨가한 경우에는 600시간에서 50%에 도달하였고, 3 vol.%를 첨가한 경우에는 340시간에서 50%에 도달하였다. 일반적으로 소자의 휘도가 초기 휘도의 50% 도달할 때까지를 수명으로 정의하게 되며, 그림에서 0.5 vol.% 보다는 1 vol.%인 경우에 소자의 수명이 증가하였으나 첨가량이 2 vol.%, 3 vol.%로 증가함에 따라서 수명이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 0.5 vol.%에서 1 vol.%로 첨가량이 증가한 경우 소자의 발광 효율이 증가하여 소자의 수명이 증가하나, C545T 첨가량이 2 vol.% 이상인 경우에는 발광 효율의 감소와 C545T의 함량 증가에 따른 발광체 내 물질 배열의 불균일성 증가로 인하여 소자의 수명이 감소하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

녹색 발광 OLED소자의 발광 특성을 조사하기 위하여 발광층에 활성제로 C545T를 0.5 vol.%, 1 vol.%,

2 vol.%, 3 vol.%를 첨가하여 ITO(1500 Å)/2-TNATA(400 Å)/NPB(80 Å)/Alq₃:C545T(160 Å)/Alq₃(240 Å)/LiF(3 Å)/Al(2400 Å)의 구조의 OLED소자를 제작하였다. 제작한 소자의 발광특성을 평가하기 위하여 I-V-L, 발광스펙트럼 및 소자의 수명을 측정하였다. 그 결과 발광층에 첨가된 활성제인 C545T의 농도가 증가함에 따라 발광효율은 증가하다가 1 vol.%의 첨가량에서 최대값인 10.9 cd/A와 4.28 lm/W를 나타내고, 농도가 더욱 증가하면 발광 효율은 다시 감소하는 결과를 얻었다. 이 결과는 활성제로 사용된 C545T의 첨가량이 증가함에 따라 활성제의 밀도가 증가하여 발광 확률이 증가하나, 활성제의 농도가 더욱 높아지면 에너지 전이 확률이 발광 확률을 초과하게 되어 활성제로서의 역할을 하지 못하여 나타난 결과로 보인다. 제작된 OLED소자의 수명 또한 C545T를 1 vol.% 첨가한 경우에 750시간 이상의 구동 시간을 얻을 수 있어 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. C. W. Tang, S. A. VanSlyke, C. H. Chen, J. Appl. Phys., 65 (1989) 3610.
2. J. Kido, M. Kimura, K. Nagai, Science, 267 (1995) 1332.
3. J.-H. Lee, S.-H. Ju, S.-W. Kim, W.-G. Lee, W.-Y. Kim, J.-S. Choi, Y.-K. Kim, C.-H. Lee, J. of the Korean Physical Society, 35 (1999) S1124-S1127.
4. N.-R. Kim, Y.-D. Lee, J.-K. Kim, S.-W. Hwang, B.-K. Ju, J. of Information Display, 7(3) (2006) 13-18.
5. H. Kanno, Y. Hamada, H. Takahashi, IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics, 10(1) (2004) 30-36.
6. Y. Kijima, N. Asai, S. Tamura, Jpn. J. Appl. Phys., 38(1, 9A) (1999) 5274-5277.
7. T.-H. Liu, C.-Y. Iou, S.-W. Wen, C. H. Chen, Thin Solid Films, 441(1) (2003) 223-227.
8. Fawen Guo, Dongge Ma, Lixiang Wang, Xiabin Jing, Fosong Wang, Semicond. Sci. Technol., 20(3) (2005) 310-313.
9. Y.-K. Park, J.-I. Han, M.-G. Kwak, J.-K. Han, and S.-H. Ju, J. of the Korean Institute of Electrical and Electronics Material Engineer, 10(3) (1997) 262-267.
1. C. W. Tang, S. A. VanSlyke, C. H. Chen, J. Appl.