

수치해석적 모델링을 이용한 다층박막형 유기발광소자(OLED)의 전기적 특성 연구

(Electrical Characteristics of a Multilayer Organic
Light Emitting Diode using a Numerical Modeling)

안승준*, 안성준**, 오태식***

(Seung-Joon Ahn, Seong-Joon Ahn, Tae-Sik Oh)

요 약 본 논문에서는 수치해석적 소자 모델링 기법을 이용하여 다층박막형 OLED(multilayer organic light emitting diode)에서의 전기적 특성을 연구하였다. 모델링을 위한 다층박막형 OLED 소자 구조로는 수치해석 결과에 대한 명확한 검증을 위해서 연구문헌들에 널리 적용되어진 ITO/CuPC/ α -NPD/Alq3/LiF/Al 구조를 채택하여 모델링하였다. 금속의 전류-전압 특성에 대한 수치해석 결과는 이전의 참고 문헌들에 실험적으로 제시되어 있는 결과들과 일치되어짐을 확인하였다. 본 연구는 다층박막 OLED의 동작 메카니즘에 대한 완벽한 이해와 실제 소자에의 적용 가능성 검토를 목적으로 하였다.

핵심주제어 : 다층박막형 유기발광소자

Abstract In this paper, the electric characteristics in multilayer organic light emitting diodes(OLEDs) are observed using a numerical device modeling method. The method is applied to a general device structure, ITO/CuPC/ α -NPD/ Alq3/LiF/Al, that has received broad attention in previous literature. The fitted current-voltage characteristics are quite consistent with the results which was experimentally determined in reference papers. This research approached results in a detailed understanding of the operating mechanism of a multilayer OLEDs and applied to a set of real devices.

Key Words : Multilayer Organic Light Emitting Diodes

1. 서 론

OLED(organic light emitting Diode)는 다수 개의 발광성 유기화합물을 양극과 음극사이에 매우 얇은 박막층으로 형성시킨 후에 전기적으로 여기시켜 그 발광을 이용하는 자발광형의 디스플레이 소자(Emissive Display Devices)로서 화질특성이 매우 뛰어나며, 소자의 구조와 제조 공정이 간

단할 뿐만 아니라 유연한 디스플레이(flexible display) 소자로서의 실현 가능성이 가장 높기 때문에 차세대 디스플레이 소자로 주목을 받고 있다. 그러나 주재료로 사용되고 있는 유기화합물 재료의 제한적인 수명특성과 소자 내부로의 수분의 침투는 아직까지 제품의 신뢰성에 치명적인 문제점으로 남아 있다. 또한 OLED 소자의 휘도와 효율 특성은 발광영역에서의 전자와 정공의 밀도에 의존하기 때문에 최적의 소자 효율을 실현하기 위해서는 효율적인 전하의 주입이 절대적으로 필요하므로 많은 전자와 정공의 쌍(electron-hole pairs)

* 선문대학교 자연과학대학 신소재과학과

** 선문대학교 공과대학 정보통신공학부

*** 선문대학교 공과대학 전자공학부, 제1저자, 교신저자

을 만들기 위해서는 다층박막형 구조로 만들어야만 한다. 그러나 소자의 구조가 복잡해질수록 공정의 단계도 많아지기 때문에 유기화합물은 그 재료의 특성상 예기치 않는 환경의 변화요인에 민감하게 영향을 받아서 물질의 특성이 변하는 문제가 발생한다. 그래서 많은 연구자들이 실험과정에서 빈번히 도출되는 상이한 결과들 때문에 실험에 많은 시간과 열정을 쏟고 있는 실정이다.

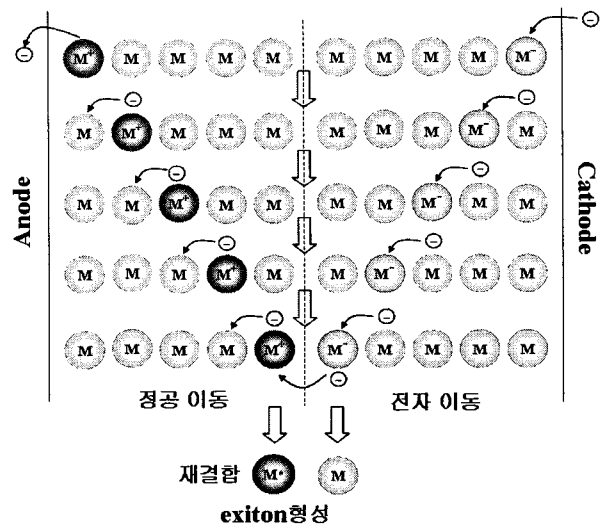
또한 OLED 소자는 음극선관(cathode ray tube, CRT), 플라즈마 디스플레이(plasma display panel, PDP), 액정 디스플레이(liquid crystal display, LCD)의 뒤를 잇는 차세대 디스플레이로 각광을 받기 시작하면서 관련된 재료들의 합성, 풀컬러(full-color)화 및 능동형(active matrix) 소자를 위한 공정기술 등은 전세계적으로 방대한 분야에서 기술개발이 추진되어 많은 진전이 이루어지고 있다. 그러나 OLED가 CRT나 LCD와 같이 초소형에서 초대형에 이르는 다양한 응용분야에서 제품화되어지고 기술적으로 완성되어지기 위해서는 소자의 구조 해석을 통한 계면에서의 물리, 화학적인 메카니즘의 분석이 절실히 요구되어지고 있으나 이 방면에는 아직까지 연구되어야 할 많은 과제가 남아 있다.

본 논문에서는 상기와 같은 실험 환경의 영향을 받지 않으면서 소자의 구조와 동작 메카니즘에 대한 물리, 화학적인 해석을 정확히 수행할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션을 활용해서 OLED 소자 구조를 모델링하여 전기적인 특성을 수치해석하였다. 아직까지 유기화합물 재료의 특성값을 데이터 베이스화한 시뮬레이터가 상용화되어 있지 않기 때문에 수치해석에 많은 애로사항이 있다, 본 연구에서는 상용화되어져 있는 TCAD 시뮬레이터[1]를 이용하여 OLED의 동작 메카니즘 분석과 구조해석의 가능성을 확인함으로써 향후 장수명, 고효율의 OLED 소자 설계에 활용할 수 있는 기초를 마련하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 OLED의 동작 메카니즘

OLED 소자는 양극과 음극의 박막형 전극 사이에 유기화합물의 박막층들이 적층되어져 있는 구조로 이루어져 있다. 양극(anode)의 투명 전도성 박막 재료로는 ITO(indium tin oxide)가 주로 사용되어지고 있고, 음극(cathode)의 금속 박막 재료로는 개발초기에는 일함수가 낮은 단일 금속(Al, Au, Ag 등)들이 사용되었지만[2~4], 최근에는 전자의 주입특성의 향상을 위해 복합물질(Mg:Ag, Li:Ag, Li:Al 등)이나 이중층(LiF/Al 등)이 주로 사용되어지고 있다[5~8]. 두 전극 사이에 적층된 유기화합물의 박막층은 적층된 위치와 수행하는 기능에 따라서 정공주입층(hole injection layer, HIL), 정공수송층(hole transport layer, HTL), 발광층(emission layer, EML), 전자수송층(Electron Transport Layer, ETL)등으로 구분되어지며 최근에는 효율을 더욱 향상시키기 위한 수단으로 정공주입 억제층(Hole Blocking Layer, HBL)과 같은 기능성 박막층들이 삽입되어지고 있다. 이러한 OLED 소자에 순방향 전압이 인가되면 양극과 음극에서 각각 정공과 전자의 주입이 이루어지고, 인접 분자사이에서 전자 교환(산화와 환원)을 일으키면서 전하 캐리어(charge carrier)들은 반대 극성의 전극으로 이동하여 간다. 양극의 계면에서는 분자가 산화되어 라디칼 양이온(radical cation)이 생성되어지고 음극의 계면에서는 분자가 환원되어 라디칼 음이온(radical anion)이라는 전하 캐리어가

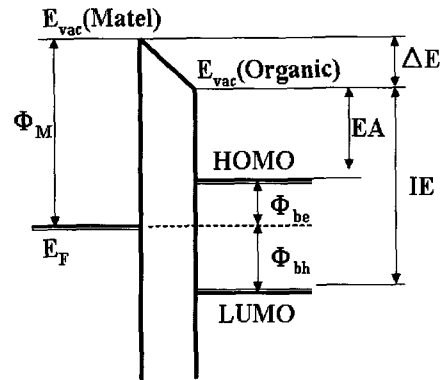


<그림 1> 캐리어 이동과 여기자 형성 과정

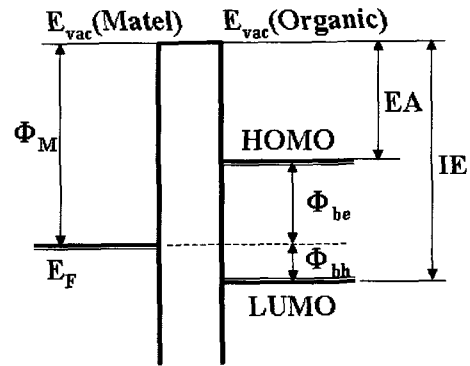
생성되어진다. 그림 1과 같이 인접한 분자사이에서 산화, 환원반응들이 반복되어지면 유기화합물층을 라디컬 양이온과 라디컬 음이온이 이동해 가는 캐리어 수송과정을 거쳐 정공과 전자가 일정 영역에서 만나면 전자의 수수과정을 통해서 재결합하여 여기자(exciton)를 형성한다. 여기자의 최외각 전자가 안정되기 위해서 기저상태로 떨어질 때에 그 에너지 준위 차이만큼의 특정한 파장의 빛이 발생되어진다. 이러한 다층박막형 OLED 소자의 전기-광학적 특성은 금속전극(metal)/유기물(organic)간의 계면 특성 뿐만 아니라 유기물(organic)/유기물(organic)간의 계면 특성에 좌우되어진다고 해도 과언이 아닐 것이다. 만약 다층박막형 OLED 소자의 특정 계면에서 전하 캐리어의 축적(accumulation)이 일어나는 경우는 소자내에서 전체적인 전하의 균형(charge balance)이 무너지게 되므로 소자의 효율과 수명의 저하를 초래하게 된다.

OLED 소자에서 금속/유기물간의 계면에 대한 전자물리적 구조는 일반적으로 그림 2(a)와 같이 Schottky-Mott 계면으로 설명되어지며, 정공주입 장벽(hole injection barrier, ϕ_{bh})은 유기화합물의 이온화에너지(ionization energy, IE)와 금속 전극의 일함수(work function, Φ_M)의 차이로 나타낼 수 있으며, 전자주입 장벽(electron injection barrier, ϕ_{be})은 금속 전극의 일함수와 유기화합물의 전자친화력(electron affinity, EA)의 차이로 나타낼 수 있다. 그러나 실제의 금속/유기물간의 계면은 반도체 소자와 같은 금속/무기물(inorganic) 계면과는 달리 그림 2(b)와 같이 접촉 전위차가 발생하여 진공준위(vacuum level)가 이동하게 된다. 그러나 무기물 반도체(inorganic semiconductor)의 경우에 있어서는 가전자대(valance band)와 전도대(conduction band)의 차이에 해당하는 에너지 밴드갭(energy band gap)은 광학 밴드갭(optical band gap)과 일치하며 약 10nm의 Wannier-Mott 여기자 반경과 약 10meV의 작은 결합 에너지(binding energy) 특성을 나타내지만, 유기물 반도체의 경우는 호핑(hopping)에 의한 전도 메커니즘이 지배적이며 약 1nm의 여기자 반경과 약 1eV의 강한 결합에너지를 나타내는 Frenkel exciton을 가진다. 이러한 현상은 금속/유기물 계면에서의 페르

미 준위(fermi level)의 위치는 물질의 종류에 관계되며 모든 경우에 쌍극자 장벽(dipole barrier)이 존재하게 된다[9-10]. 이것은 유기화합물 박막층의 형상이나 화학적 구조 변화로 인해 생기는 쌍극자 장벽(dipole barrier) 개념에 기초하며, 전하 전도, 전자구름(electron cloud)의 재분배, 계면에서의 화학반응 등의 메커니즘으로 설명되어지고 있다 [11-12].



(a) Schottky-Mott interface



(b) Dipole Barrier

<그림 2> 금속-유기물 계면에서의 Energy Diagram

결국 적층된 유기물 박막층 물질사이의 HOMO (highest unoccupied molecular orbital) / LUMO(lowest unoccupied molecular orbital)사이의 에너지 준위 오프셋(energy level offset) 및 전하 이동도(charge carrier mobility)의 최적화와 전이상태에서의 소자 특성 해석이 계면에서의 전하 축적을 줄이는 고효율의 장수명 소자 설계에 필수적인 요소라 할 수 있다.

2.2 수치해석을 위한 관계 이론

수치해석을 위한 기본적인 관계이론은 다음과 같이 전개되어진다[13, 14]. 먼저, 시간 종속적 전류 연속 방정식은 다음과 같이 나타내어진다.

$$\frac{\partial n}{\partial t} - \frac{1}{q} \frac{\partial J_e}{\partial x} = G - R \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} - \frac{1}{q} \frac{\partial J_p}{\partial x} = G - R \quad (2)$$

여기에서 J_e 과 J_p 는 각각 전자와 정공의 전류 밀도이고, q 는 전자의 전하량이며 G 는 캐리어 발생율, R 은 광학적 재결합율을 나타낸다.

유기물 반도체와 같은 광대역(wide band gap) 물질에 대해서는 band gap을 가로 지르는 열적인 여기에 의한 캐리어 생성은 매우 적어서 보통 계산에서는 무시되어진다. 유기화합물 반도체에서 전자-정공 쌍의 재결합은 2분자성이며 Langevin 형태를 갖는다.

$$R_L = \gamma(np) \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{4\pi q\mu_R}{\epsilon} \quad (4)$$

여기에서 μ_R 은 전자나 정공의 이동도보다 큰 유효 이동도(effective mobility)이고, ϵ 는 물질의 유전상수이다.

다음으로 소자내에서 정전 포텐셜 ψ 또는 전계 E 와 전하에 관계되는 포아송 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{d^2\psi}{dx^2} = \frac{q}{\epsilon}(p - n + N_D - N_A) \quad (5)$$

여기에서 N_D 는 도너 밀도(donor density)이고 N_A 는 억셉트 밀도(acceptor density)이다. 전자와 정공의 밀도와 정전 포텐셜 사이의 관계 방정식은 Maxwell-Boltzmann 확률분포로부터 유도되어지며, 전자와 정공의 밀도 n_e 와 p_e 는 다음

과 같이 주어진다.

$$n_e = N_c \exp\left[\frac{q}{k_B T} \left(\psi - \phi_e + \frac{\chi_c}{q}\right)\right] \quad (6)$$

$$p_p = N_v \exp\left[\frac{q}{k_B T} \left(\psi - \phi_p + \frac{E_g}{q} + \frac{\chi_c}{q}\right)\right] \quad (7)$$

여기에서 N_c 와 N_v 는 각각 전도대와 가전자대에서의 상태밀도, Φ_e 과 Φ_p 는 전자와 정공의 의사 페르미 준위(quasi-Fermi level), χ_c 는 물질의 전자친화력, T 는 켈빈(Kelvin)온도, k_B 는 볼츠만 상수(Boltzmann's constant)이다.

드리프트-확산전류방정식(drift-diffusion current equation)은 다음과 같다.

$$J_e = -q\mu_e n_e \frac{d\phi_e}{dx} \quad (8)$$

$$J_p = -q\mu_p n_p \frac{d\phi_p}{dx} \quad (9)$$

여기에서 μ_e 과 μ_p 는 각각 전자와 정공의 이동도이고, J_e 과 J_p 는 드리프트 성분과 확산 성분을 모두 가지고 있다.

또한 J_e 과 J_p 는 아인슈타인 관계식(Einstein relation) $eD = \mu k_B T$ 를 이용하면 다음의 식들과 같이 나타내어진다.

$$J_e = q\mu_e \left[n_e E + \left(\frac{k_B T}{q}\right) \frac{\partial n_e}{\partial x} \right] \quad (10)$$

$$J_p = q\mu_p \left[n_p E + \left(\frac{k_B T}{q}\right) \frac{\partial n_p}{\partial x} \right] \quad (11)$$

$$J = J_e + J_p \quad (12)$$

여기에서 전하 이동도 μ_e 와 μ_p 는 전계 종속적인 Poole-Frenkel 형태를 나타내며 다음과 같이 각각 주어진다.

$$\mu_e(E) = \mu_{e0} \exp\left(\sqrt{\frac{E}{E_{e0}}}\right) \quad (13)$$

$$\mu_p(E) = \mu_{p0} \exp\left(\sqrt{\frac{E}{E_{p0}}}\right) \quad (14)$$

여기서 μ_{e0} 와 μ_{p0} 는 전계가 인가되지 않았을 때의 전자와 정공의 이동도이고, E_0 는 물질내에서 무질서와 관계되는 특성 전계로서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E_0 = \left(\frac{kT}{q}\right)^2 \left(\frac{\pi\epsilon\epsilon_0}{q}\right) \quad (15)$$

여기서 ϵ_0 는 진공유전율이고, ϵ 는 물질의 유전율 나타낸다.

전계가 인가되지 않았을 때의 전자와 정공의 이동도 μ_{e0} 와 μ_{p0} 는 물질상수들인 활성화 에너지 Δ_0 그리고 선행요소 μ_s 와 켈빈 온도 T_0 를 이용하여 다음과 같이 표현되어지기도 한다.

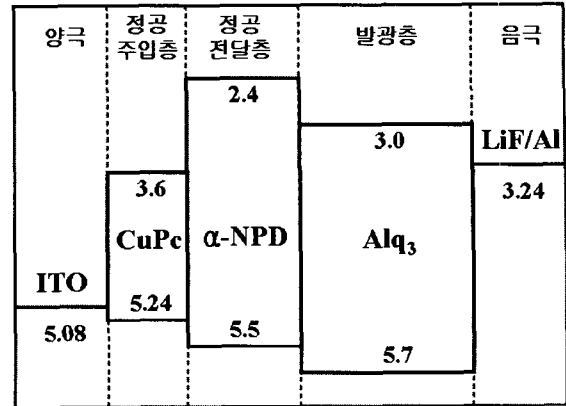
$$\mu_{e0} = \mu_s \exp\left(\frac{\Delta_0}{k_B T_{0e}}\right) \quad (16)$$

$$\mu_{p0} = \mu_s \exp\left(\frac{\Delta_0}{k_B T_{0p}}\right) \quad (17)$$

그러나 온도 인자를 감안하는 경우는 실험적으로 온도별 이동도의 전계 의존성 그래프를 구하여 μ_s 와 Δ_0 를 도출[15]하여야 하므로 수치해석에 적용하기에는 어려움이 있다. 그래서 본 논문에서는 각 물질별로 제시될 수 있는 기준 전계 E_{e0} 와 E_{p0} 에서의 이동도 μ_{e0} 와 μ_{p0} 를 적용하여 계산하였다.

2.3 소자 구조와 물질의 전자, 화학적 특성값

본 논문에서는 수치해석 결과에 대한 명확한 검증을 위해서 문헌들에 일반적으로 널리 알려져 있는 ITO/CuPC/ α -NPD/Alq3/LiF/Al 다층박 막형 OLED 소자 구조를 채택하여 모델링하였다. 그림 3은 소자 구조와 에너지 레벨을 표시한 것으로 정



<그림 3> 본 논문에서 모델링한 OLED 소자 구조

공주입층으로는 CuPc, 정공전달층으로는 α -NPD, 발광층으로는 Alq3를 사용하였고, 양극으로는 투명 도전체인 ITO, 음극으로는 LiF/Al 이중층을 사용하였다. 본 연구에서는 정공전달층과 발광층의 두께 변경에 따른 전류-전압 특성의 변화를 비교하기 위해서 16가지의 소자구조를 모델링하여 해석하였다.

표 1은 본 수치해석에 사용한 소자구조를 매트릭스 형태로 분류한 것으로 각 모델링 구조마다 기호와 번호를 부여하였다.

<표 1> 모델링 구조 및 구조별 기호와 번호

	α -PND [nm]			
	30	40	50	60
40	■ 11	■ 12	■ 13	■ 14
60	▲ 21	▲ 22	▲ 23	▲ 24
70	● 31	● 32	● 33	● 34
80	▼ 41	▼ 42	▼ 43	▼ 44

표 2의 상수들은 참고문헌[16]에 제시된 것으로 금희의 수치해석에 사용된 전극들과 유기화합물 박막층들에 대한 전자적, 화학적인 주요 특성값들이다. 이중에서 LiF/Al의 일함수는 3.51 eV 로 제시되어 있지만, 본 연구에서는 실험치와 수치해석 결과를 프로그래밍시켜 3.24eV를 최적값으로 구하였다. 이 값은 다른 선행 문헌들에 제시되어 있는 3.1~

3.2eV에 근접한다[17][18].

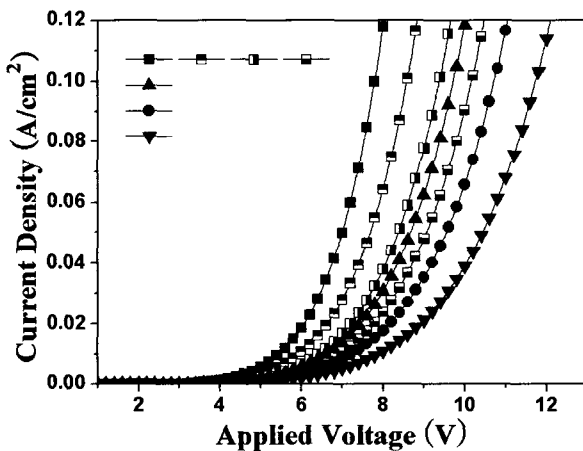
<표 2> 전극과 박막층의 전자, 화학적 특성값

Material	HOMO [eV]	LUMO [eV]	μ_{p0} μ_{n0} [cm ² /Vs]	E_{p0} E_{n0} [V/cm]
CuPc	5.24	3.6	1.0×10^{-3} -	3.6×10^4 -
α -NPD	5.50	2.4	1.0×10^{-5} -	3.6×10^4 -
Alq ₃	5.70	3.00	1.0×10^{-9} 1.0×10^{-8}	4.7×10^4 1.8×10^4
Material	Workfunction [eV]			
ITO	5.08			
LiF/Al	3.24 (3.51)			

3. 수치해석 결과 및 검증

본 연구에서 모델링한 ITO/CuPc/ α -NPD /Alq₃/LiF/Al 다층박막형 OLED 소자 구조의 정공전달층인 α -NPD 박막층과 발광층인 Alq₃ 박막층의 두께 변화에 의한 전류-전압 특성 변화를 확인하기 위하여 표 1의 1행(11, 12, 13, 14)과 1열(11, 21, 31, 41)의 구조를 각각 모델링하여 표2의 특성값들을 적용하여 수치해석한 결과, 그림 4에 나타난 전류-전압 특성을 얻을 수 있었다.

본 구조는 CuPc/ α -NPD 계면과 Alq₃/LiF/Al 계면에서의 주입 장벽이 각각 0.26eV, 0.24eV로 비



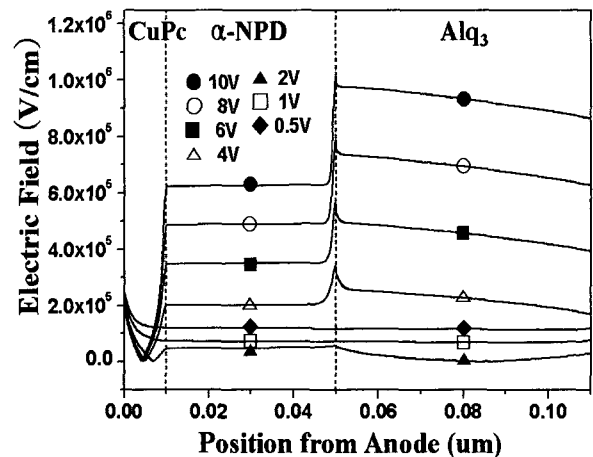
<그림 4> 박막층 두께 변경에 따른 전류-전압 특성의 변화

슷하기 때문에 소자에 전압이 인가되기 시작하면 정공과 전자는 비슷하게 주입되기 시작할 것이다.

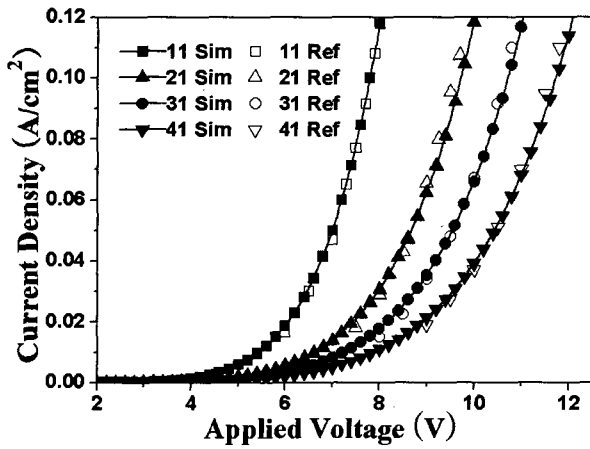
그러나 Alq₃의 전자 이동도가 10-8cm²/Vs 정도로 α -NPD의 정공 이동도 10-3cm²/Vs에 비해 상당히 작기 때문에 인가전압을 증가시키면 실질적인 전압 강하는 이동도가 작은 Alq₃층 내에서 일어나게 되는데, 이는 그림 5에서 나타난 위치별 전계(electric Field) 분포에 대한 해석 결과에서 인가전압에 따라 Alq₃층에서의 전계분포가 크게 변화되어지는 것으로도 확인할 수 있다. 결국 그림 4의 결과와 같이 이동도가 작은 Alq₃ 박막층의 두께를 변경시키는 경우가 이동도가 큰 α -NPD 박막층의 두께를 변경시키는 경우보다 전류-전압 특성의 변화가 더욱더 크게 나타나게됨을 알 수 있다.

참고문헌[16]에 실험적으로 제시되어 있는 전류-전압 특성곡선들과 비교해 보면 그림 6에 나타난 바와 같이 구동전압의 입력단과 가장 가까운 시료 {11}에서는 그 결과가 매우 잘 일치 되어짐을 확인할 수 있으며 시료{21, 31, 41}에서는 약간의 오차는 있으나 5%이내의 오차범위내에 들어오는 것을 알 수 있다. 이는 상기 문헌에 언급되어져 있는 바와 같이 16개의 시료를 매트릭스 형태로 제작하였기 때문에 각 시료의 위치 차이에 따른 ITO 전극의 선저항 성분을 고려하여 전류-전압 특성을 그래프화한 것으로 어느 정도의 보정 오차가 발생할 수 있는 가능성이 있다.

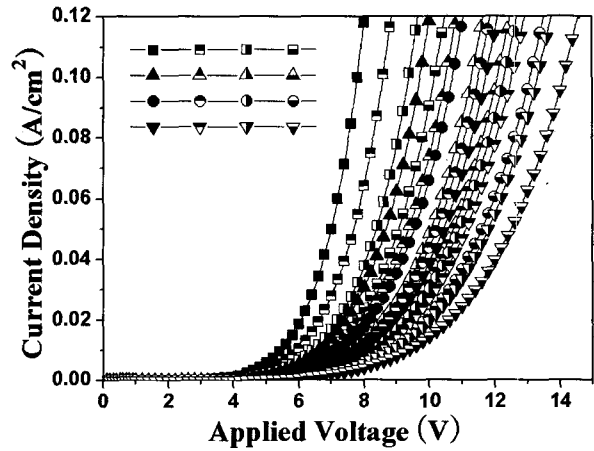
그래서 해석 결과를 추가적으로 검증을 위하여



<그림 5> 위치별 Electric Field 분포



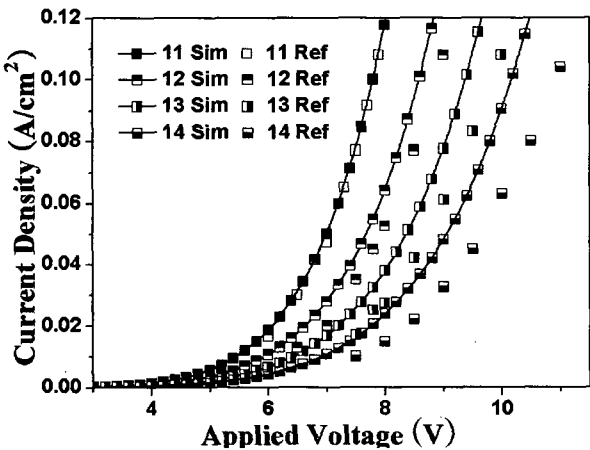
<그림 6> ITO 저항분석을 위한 전류-전압 특성 비교



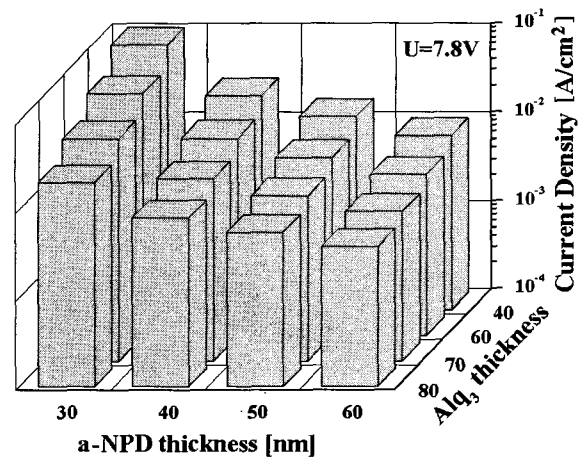
<그림 8> 표 1의 16가지 소자 구조에 대한 전류-전압 특성

ITO전극의 선저항 성분이 같은 위치인 1열의 시료(11, 12, 13, 14)를 수치해석하여 상기 문헌의 측정값들과 비교해 본 결과, 그림 7과 같이 음극인 금속 전극의 입력단에서 멀어질수록 수치해석 결과와 차이가 점차 커졌다. 이는 소자의 위치별 차이와 일치되어지는 것으로 금속전극의 선저항 성분에 의한 것으로 추정할 수 있다. 결국 참고문헌의 결과는 ITO 전극의 선저항 성분은 고려되었지만 금속 전극인 Al의 선저항 성분이 보정되지 않아서 발생하는 결과임을 알 수 있다.

그림 8은 표 1에서 제시한 16가지 소자 구조에 대한 모델링 해석결과를 나타낸 것으로 α -NPD와 Alq3의 박막 두께 변화에 의한 전류전압 특성들을 비교해 볼 수 있다.



<그림 7> Al 저항분석을 위한 전류-전압 특성 비교



<그림 9> 3D-semilogarithmic plot에 의한 소자별 전류밀도 분포

같은 결과를 구할 수 있었다. 이는 참고문헌에서 제시한 실험에 의한 측정 결과와 동일한 경향성을 나타내는 것으로 고정된 임의의 인가전압에서는 발광층인 Alq3 박막층보다도 정공수송층인 α -NPD 박막층의 두께 변화에 더욱 민감하게 전류 특성이 변하는 것을 나타내고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 수치해석적인 소자 모델링 기법을 적용하여 다층박막형 OLED 소자의 물리, 전자적 동작 메카니즘에 대한 이해를 증진시켰고, 전류-전압 특성에 대한 수치해석 결과는 이전의 참고 문헌들에 실험적으로 제시되어 있는 결과들과 일치되어짐을 확인하였다. 이는 다층박막 구조형 OLED 소자에서의 특성해석 결과의 타당성과 구조설계에 직접 활용할 수 있는 가능성을 보여주는 것이다. 최근 디스플레이 산업체에서 초기 양산에 박차를 가하고 있는 AM-OLED의 장수명화, 고효율화 성능을 확보하기 위해서는 재료기술, 소자기술, 구동기술 등의 모든 관련 분야가 상호 유기적으로 발전되어야 한다. 따라서 다층박막층의 계면에서 물리, 전자, 화학적 현상들을 명확하게 해석하는 것은 OLED의 재료기술과 소자기술을 연계시키는 매우 중요한 연구과제이다. 본 연구는 이러한 요구를 해소시키기 위한 것으로 폭넓은 사용영역에서 OLED 소자가 제품화되어지는데 기여할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 다양한 재료와 구조에 대한 추가적인 연구가 필요하며, 향후 OLED 재료관련 특성 상수들이 데이터 베이스화 되어진다면 더욱 빠르고 정확하게 OLED 소자의 성능향상에 기여할 수 있을 것으로 기대되어진다.

참 고 문 헌

- [1] ATLAS: OTFT User's Manual, Silvaco International, Santa Clara, CA, Chap. 15, p15-1, 2006
- [2] A. B. Walker, A. Kambili and S. J. Martin, J. Phys R1. p9825, 2002
- [3] G. G. Malliaras and J.C. Scott, J. Appl. Phys. v83, p944, 1998
- [4] B. K Crone, P. S. Davis, I. H. Cambell, D. L. Smith, Appl. Phys. v87, p1974, 2000
- [5] C. W. Tang and S.A. Van Slyke, Appl. Phys. Lett. v51. p913, 1987
- [6] J. Kido, K. Nagai and Y. Okamoto, IEEE Trans. Electron Devices v40, p1342, 1993
- [7] T. Wakimoto, K. Nagayama, A. Yokoi, Y. Fukuda, H. Nakada, and M. Tsuchida, IEEE Trans. Electron Devices v44, p1245, 1997
- [8] L. S. Hung, C. W. Tang and M. G. Mason, Appl. Phys. Lett. 70. p152, 1987
- [9] G. E. Jabbour, B. Kippelen, N. R. Armstrong, and N. Peyghambarian, Appl. Phys. Lett. v73. p1185, 1998
- [10] J. Kido and T. Matsumoto, Appl. Phys. Lett. v73. p2866, 1998
- [11] A. Kahn, N. Koch, and W. Gao, J. Polym. Sci. B. Polym. Phys. v41, p2529, 2003
- [12] I. G. Hill, A. Rajagopal, and A. Kahn, Appl. Phys. Lett. v73. p662, 1998
- [13] C. D. J. Blades and Alison B Walker, Proc. SPIE. v3623, p35, 1999
- [14] S. J. Martin, G. L. B. Verschoor, M. A. Webster, and Alison B Walker, Organic Electronics. v3. p129, 2002
- [15] G. Pfister, Physics Review B. v16, 3676, 1977
- [16] E. Tutis, D. Berner, and L. Zuppiroli, J. Appl. Phys. v93, p4594, 2003
- [17] D. H. Chung. S. W. Hur, S. K. Kim, J. U. Lee, C. H. Kim, J. W. Hong, T. W. Kim, Current Applied Physics. v4, p667, 2004
- [18] Y. S. Wua, S. W. Hwang, H. H. Chen, M. T. Lee, W. J. Shen, C. H. Chen, Thin Solid Film. v488, p265, 2005
- [19] Tilman A, Beierlein, H-P. Ott, H. Hofmann, H. Riel, B. Ruhstaller, B. Crone, S. Karg and W. Riess, Proc. SPIE. v4464, p178, 2002
- [20] S. Berleb, W. Brutting, G. Paasch, Organic Electronics v1. p41, 2000

[21] J. Staudigel, M. Stoßel, F. Steuber, J. Simmerer, J. Appl. Phys. v86. 3895, 1999



안 승 준 (Seung-Joon Ahn)

- 1985년 2월 : 경북대학교 자연과학대학 물리학과(이학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학석사)
- 1993년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학박사)
- 1989년 2월~1997년 2월 : 삼성전자 반도체연구소 선임연구원
- 1997년 3월~현재 : 선문대학교 자연과학대학 신소재학과 부교수
- 관심분야 : 반도체 공정 및 장비기술, 레이저 annealing, 레이저 미세가공, 전자빔 기술



안 성 준 (Seong-Joon Ahn)

- 1987년 2월 : 서울대학교 물리학과(이학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학석사)
- 1992년 8월 : 한국과학기술원 물리학과(이학박사)
- 1992년 9월~1996년 4월 : 삼성전자 반도체연구소 선임연구원
- 1996년 5월 : 한전전력연구원 선임연구원
- 2002년 3월~현재 : 선문대학교 정보통신공학부 부교수
- 관심분야 : 반도체 공정, 광섬유 통신 및 센서, 전자빔 기술, 레이저 미세가공, 접지기술



오 태 식 (Tae-Sik Oh)

- 정회원
- 1985년 2월 : 성균관대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
- 1990년 8월 : 경희대학교 산업정보대학원 전자공학(공학석사)
- 2005년 2월 : 성균관대학교 나노과학공학과(공학박사)
- 1984년 12월~2003년 7월 : 삼성SDI 중앙연구소 수석연구원
- 2003년 7월~2006년 2월 : 삼성종합기술원 디스플레이 Lab 전문연구원
- 2006년 3월~현재 : 선문대학교 공과대학 전자공학부 조교수
- 관심분야 : 디스플레이 소자구조 해석/설계 및 평가, 전자빔 기술, 나노재료 응용 소자기술