

유기 EL 디스플레이 기술

Organic EL Display Technology

□ 한 정 인 · 문 대 규 / 전자부품연구원 디스플레이 연구센터

0101010101010101010

I. 서 론

최근 들어 정보통신 기술의 급격한 발달로 인해 정보를 기반으로 하는 새로운 산업이 급격히 발전하고 있으며 이를 위한 정보 표시 매체 산업 역시 급속히 성장하고 있다. 정보 표시 매체로서의 기존의 CRT는 이동성이 결여되어 있으며 공간, 무게, 소비전력, 표시 해상도 등의 제약으로 인해 신개념의 정보 표시 매체로서 부적합하다. 따라서 정보 표시 매체로서의 요구 조건에 부응하며 기존의 CRT를 대체하는 TFT LCD, PDP, 유기 EL 디스플레이 등의 평판 디스플레이 산업이 급속히 성장하고 있다.

평판 디스플레이 중 유기 EL 디스플레이는 응답속도가 1ms(천분의 일초) 이하로서 고속으로 응답하며, 자체 발광 유기 EL 소자를 화소로 이용하기 때문에 시야각에 문제가 없어 소형에서 대형에 이르기까지의 어떠한 동화상 표시 매체로서도 손색이 없으며, 소비

전력이 작으며 백라이트가 필요 없고, 박막 형태로 제작하기 때문에 평판 디스플레이에 적합하며, 저온에서 제작이 가능하며 제조 공정이 단순하여 저가격화가 유리하기 때문에 대중화에 유리하여, 디스플레이에 필요한 모든 요소를 갖추고 있는 가장 유력한 차세대 디스플레이로서 세계적으로 이의 실용화를 위해 노력하고 있다.

기술예측에 따르면 2010년도에는 휴대전화 9억대 중 1억 5천 만대 이상이 유기 EL을 채용할 것으로 기대되며 그 수요가 급격히 확산될 것으로 알려지고 있다. 또한 PDA의 경우 2010년에 전체의 20% 이상인 695만대 이상이 유기 EL 디스플레이를 채택하고, 자동차용 Car Navigation System(CNS) 등의 30% 이상인 4,230만대 이상이 유기 EL 디스플레이를 채택할 것으로 예상된다. 특히 2001년 현재 약 500만 달러 미만의 시장에서 2007년 16억 달러 이상의 시장으로 성장할 것으로 예측되기 때문에 유기 EL 디스플레이는

문자 그대로 무에서 유가 창조되는 기술 경쟁의 각축장이 되고 있다.

II. 유기 EL 개발사

유기 EL은 유기물(저분자 또는 고분자) 박막에 음극과 양극을 통하여 주입된 전자와 정공에 의해 여기자가 형성되고, 형성된 여기자로부터 특정한 파장의 빛이 발생하는 현상으로 1963년 Pope 등에 의해 고체 상태의 유기 재료인 anthracene 단결정으로부터 처음 발견되었으며 이러한 연구로부터 유기물에서의 전하 주입, 재결합, 여기자 생성, 발광 등의 기초적인 메커니즘에 관해 이해할 수 있었으나, 소자의 효율이나 수명은 매우 낮았다.

그 후 1987년 Kodak 사의 Van Slyke와 Tang이 발광층과 전하수송층으로 각각 Alq3와 TPD라는 이중층 저분자 유기물 박막을 형성하여 효율과 안정성이 개선된 녹색 발광 현상을 발견한 이후로 저분자를 이용한 유기 EL 디스플레이를 개발하려는 노력이 본격적으로 시작되었으며, 또한 1990년에 영국 Cambridge 대학에서 PPV라는 π -공액성(conjugated) 고분자 박막으로부터 EL 특성을 관찰하여 고분자를 이용한 유기 EL 디스플레이를 개발하려는 연구가 동시에 진행되고 있으며, 1998년 미국의 Princeton 대학에서는 Pt(OEP) 및 Ir(ppy)3 등의 재결합에 의해 형성된 여기자를 100% 활용할 수 있는 인광 유기 EL이 개발되어 현재 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

유기 EL 디스플레이는 10여년의 짧은 연구 기간에도 불구하고 단기간 내 R&D 수준에서 실용화 수준까지 도달한, 연구가 가장 활발한 디스플레이로 자리잡고 있다. 1996년 일본의 Pioneer사는 차량의 오디오용으로 단색 유기 EL 표시 장치를 세계 최초로 개발하고

1997년에 이를 상용화하였으며, 동사는 1999년에 카스테레오용 4색, 64 x 256 화소의 유기 EL 디스플레이를 양산하기 시작했다. 그리고 최근에는 미국 Motorola 사에 휴대전화기용 멀티컬러 유기 EL 패널을 공급하는 등 가장 활발히 사업화를 진행하고 있다. 이외에도 Idemitsu Kosan은 청색발광으로부터 색변환층을 사용하여 컬러를 표시하는 방법으로 소자의 수명이 약 2만시간 정도인 10.4" 충전연색 패널을 개발하였으며, TDK와 NEC는 단색발광 오디오 표시 장치를 개발하였다. 유기 EL 분야의 물질 및 소자 관련 원천 특허를 가장 많이 보유하고 있는 미국의 Eastman Kodak과 Sanyo는 2", 5.5" QVGA급 충전연색 능동 구동 유기 EL 디스플레이와 휴대전화용 멀티컬러 유기 EL 디스플레이를, 영국의 CDT(Cambridge Display Technology)는 유기 EL 기술을 바탕으로 Seiko-Epson의 inkjet print 방식과 TFT 기술을 이용한 2.5" 충전연색 고분자 능동 구동 유기 EL 디스플레이를 공동 개발하였다. 또한 올해 2월에는 Toshiba가 2.85" 충전연색 고분자 능동 구동 유기 EL 디스플레이를 발표하였고, Sony는 13" 저온 다결정 규소 TFT 유기 EL 디스플레이를 발표하였다. 한편 Pioneer에서는 플라스틱 기판을 이용한 수동 구동 유기 EL 디스플레이를 개발하여 2003년에 휴대정보단말기 및 휴대폰 단말기용으로 실용화시킬 계획을 밝힌 바 있다. 이러한 유기 EL의 개발은 국내 업체에서도 활발히 진행되고 있다. LG 전자의 경우 1998년 충전연색 3.8" QVGA급 유기 EL 디스플레이를 개발한데 이어, 이듬해 8" VGA급 유기 EL 디스플레이를 개발하였으며, 최근에는 소비전력 및 해상도가 개선된 2" 급의 유기 EL 디스플레이를 개발하였다. 삼성 SDI는 일본의 NEC와 합작회사인 SNMD(Samsung NEC Mobile Display)를 설립하고 2"급의 유기 EL 디스플레이를 개발하였으며 양산을 준비하고 있다. 또한 삼성 SDI는 최근에 8"

VGA의 개발 및 세계 최초로 15" 저온 다결정 규소 TFT를 이용한 능동 구동 유기 EL 디스플레이를 개발하였다.

Ⅲ. 유기 EL 소자의 작동 원리

그림 1(a)는 기본적인 유기 EL 소자를 나타낸 것으로, 양극(anode) 과 음극(cathode) 사이에 유기물 층이 놓여있다. 유기물 층의 두께는 일반적으로 100nm 정도이다. 양극에서는 정공이 주입되며, 음극에서는 전자가 주입된다. 주입된 전자와 정공은 발광층인 유기물층에서 재결합되어 여기자(excited state ; exciton)가 생성되고, 여기자는 확산하며 빛이 생성되며 에너지 준위가 낮은 상태(ground state)가 된다. 생성된 빛은 투명한 전극 및 기판 쪽으로 방출된다. 그림 1(b)는 소자의 에너지 준위를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 양극에서는 정공이 주입되기 쉽고, 음극에서는 전자가 주입되기 쉽다. 또한 일반적으로 양극의 일함수보다 HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital) 준위가 크기 때문에 정공의 주입에 대한 장벽이 존재하며, 음극의 일함수보다 LUMO(Lowest Occupied Molecular

Orbital) 준위가 작기 때문에 전자의 주입에 대한 장벽이 존재한다. 따라서 유기 EL 소자를 효율적으로 동작시키기 위해선 정공 및 전자의 주입 장벽이 작아야 함을 쉽게 추론할 수 있다.

유기 EL 소자의 외부 양자 효율은 주입된 전하의 수에 대한 밖으로 방출되는 광자의 수를 의미하며, 다음과 같이 정의된다.

$$\eta_{ext} = \eta_{int} \times \eta_{out} = \eta_i \times \eta_p \times \eta_{out} \quad (1)$$

여기서 η_{ext} 는 외부 양자 효율이며, η_{int} 는 내부 양자 효율(주입된 전하의 수에 대한 생성된 광자의 수의 비), η_{out} 는 내부에서 생성된 빛이 소자 밖으로 나오는 비율이다. 내부 양자 효율(η_{int})은 재결합효율(η_i ; 주입된 전하의 수에 대한 생성된 여기자의 수의 비) 과 광자효율(η_p)로 표시된다. 광자효율은 위에서 논의하겠지만 일중항 및 삼중항 여기자 생성비, 물질의 PL 양자 효율, 여기자의 광자 생성 효율(radiative decay efficiency)등에 의해 결정된다. 따라서 고효율 유기 EL 소자의 제작을 위해선 주입된 전자와 정공이 재결합될 확률을 증가시키며, 광자효율이 높은 물질을 발광층으로 사용하고, 소자 내부에서 생성된 빛을 소자 바깥으로 효율

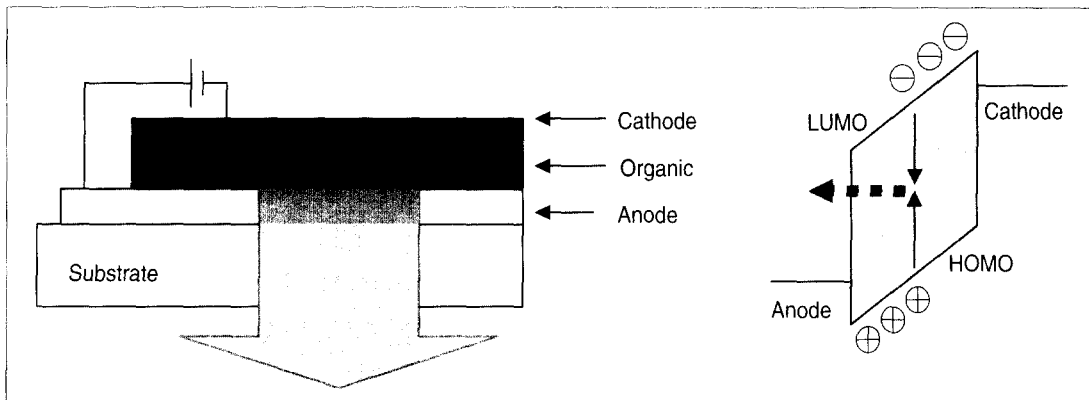


그림 1. 유기 EL 소자의 기본구조 (a) 및 에너지 준위 (b). (a) 왼쪽, (b) 오른쪽

적으로 빠져 나올 수 있도록 소자를 디자인하는 것이 중요하다.

1. 전하의 주입 및 이동

주입된 전자와 정공이 재결합될 확률을 증가시키기 위해선 주입되는 전자와 정공의 수가 균형을 이루어야 한다. 또한 이와 동시에 소자의 구동 전압을 낮추기 위해선 저전압에서 충분한 수의 전하가 주입되어야 한다. 따라서 전극과 유기물 층의 계면에 존재하는 전하 주입에 대한 장벽 그림 1(b)을 조절하는 것이 중요하다.

정공의 주입을 위해서는 약 100-200nm 두께의 ITO 박막이 가장 일반적으로 사용된다. ITO 박막은 일함수가 약 4.4-4.5eV 정도인 반면, 유기물 층의 LUMO 준위는 물질에 따라 다르지만 일반적으로 4.5eV 보다 크기 때문에 ITO와 유기물 층 사이에 정공 주입에 대한 장벽이 존재하며, 이 장벽을 낮추기 위하여 크게 두 가지 방법이 시도되고 있다. 첫째는 ITO의 일함수를 증가시키는 방법이며, 나머지는 ITO와 유기물 층 사이에 ITO의 일함수보다 크고 유기물 층의 LUMO 준위보다는 작거나 같은 유기 혹은 무기 전하 주입층(혹은 수송층)을 삽입하는 방법이다.

ITO 전극의 일함수를 증가시키기 위해서 여러 가지 방법이 시도되고 있으며 그 중 가장 일반적인 방법은 ITO 전극의 표면처리를 통해 ITO 전극 표면의 일함수를 변화시키는 방법이다. 표면처리는 기계적인 방법, 화학적인 방법 및 플라즈마를 이용하는 방법 등이 시도되고 있으며, 기계적인 방법은 일반적으로 ITO 전극의 일함수가 감소되며, 수소 플라즈마 처리 방법 역시 일함수가 감소된다. 지금까지 가장 효율적인 일함수 증가 방법은 Aquaregia에 의한 ITO 표면 식각 및 산소 플라즈마 처리 방법 등이 있다. 이러한 표면처리에 의한 일함수 변화는 ITO 표면의 산화 및 환원과 관계가 있는 듯 하

며 아직까지는 그 원인이 명확히 규명되지 않았다.

ITO 전극과 유기 발광층 사이에 유기 혹은 무기 전하 주입층(혹은 수송층)을 삽입하는 방법 또한 정공 주입 효율을 증가시키기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 무기물 전하 주입층으로는 두께가 약 1-5nm 정도의 산화막이 주로 연구되고 있으며, 유기물 전하 주입층으로는 고분자의 경우 PANI 혹은 PEDOT 등의 전도성 고분자가, 저분자의 경우 MTDATA 혹은 CuPc 등 약 5.0eV 부근의 LUMO 준위를 가진 물질이 주로 연구되고 있다. 또한 일반적으로 저분자 정공 주입층은 전하의 이동도가 작기 때문에 이를 보완하기 위하여 전하이동도가 큰 TPD, NPD 등의 정공 수송층이 유기 발광층과 전하 주입층 사이에 삽입된다. 그림 2는 PPV 고분자 유기 EL 소자에서 ITO 산소 표면처리 및 정공 주입층의 효과를 나타낸 것이다. 그림에서 B는 표면처리와 정공 주입층의 효과를 결합한 것으로 그렇지 않은 경우 그림 2A보다 효율 및 최대 휘도가 약 5배 이상 증가한다.

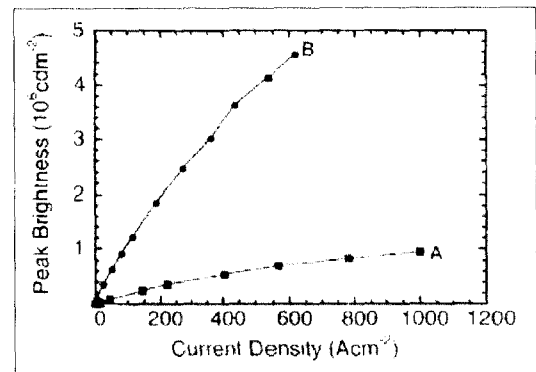


그림 2. PPV 고분자 유기 EL 소자에서 ITO 표면 처리 및 정공 주입층의 효과

전자의 효율적인 주입을 위해서 일함수가 작은 Ca, Mg, Mg:Li, Mg:Ag 등의 금속 박막이 주로 음극으로 사용된다. 이러한 금속 박막과 유기 발광층의 계면에도 전자의 주입 장벽이 존재하기 때문에 전자 주입을 증진

시키기 위해서 LiF 등의 무기 산화막을 금속과 유기물 층 사이에 삽입하는 방법 혹은 유기 전자 주입층을 삽입하는 방법 등이 연구되고 있다. 특히 LiF 박막의 삽입에 관한 연구가 가장 활발히 진행되고 있으며 그 원인 역시 어느 정도 규명되고 있다.

2. 발광 물질 및 인광 유기 EL 소자

그림 3에 전자와 정공의 재결합 및 발광 기구의 에너지 준위도를 나타내었다. 전자와 정공의 재결합에 의해, 전자 스핀이 배열되는 방법에 따라 약 25%의 일중항(singlet)과 약 75%의 삼중항(triplet)의 여기자가 생성된다. 일반적인 유기 물질의 경우 일중항이 기저 상태(ground state)로 돌아올 때 빛이 생성되며, 삼중항은 빛이 생성되지 않고 열 등의 형태로 에너지가 분산된다. 일중항의 감쇠시간(decay time)은 수 나노(nano) 초 이하이며, 이러한 물질을 유기 형광체라 한다. 반면 삼중항도 발광에 참여하는 물질이 있으며, 이때의 감쇠시간은 수 마이크로(micro) 초에서 수 밀리(milli) 초 정도이며 이러한 물질을 유기 인광 물질이라 한다. 삼중항이 발광에 참여하는 경우 이론적인 내부 양자 효율은 100%가 되며, 이론 외부 양자 효율은 약 20%가 된다.

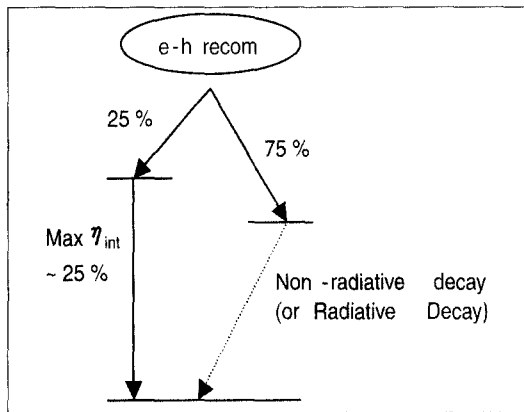


그림 3. 전자와 정공의 재결합 및 발광 기구의 에너지 준위도

수식 (1)의 외부 양자 효율은 수식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta_{ext} = \eta_s (\chi_s \Phi_s q_{sr} + \chi_t \Phi_{ph} q_{tr}) \eta_{int} \quad (2)$$

여기서 χ_s 는 재결합에 의해 생성된 일중항의 비율, Φ_s 는 형광체의 PL 양자 효율, q_{sr} 은 일중항의 광자생성 효율(radiative decay efficiency)이며, χ_t 는 삼중항의 비율, Φ_{ph} 는 인광체의 PL 양자 효율, q_{tr} 는 삼중항의 광자 생성효율이다.

PL 양자 효율이 높은 물질을 발광층에 도핑함에 의해 유기 EL 소자의 효율을 증가시키며 색을 변화시킬 수 있다. 일반적으로 사용되는 형광 도판트는 coumarin 6, rubrene, DCJTb, DSA armine 등이 있으며, 인광 도판트는 Ir(ppy)₃, Pt(OEP) 등이 있다. 형광 도판트를 사용하는 형광 유기 EL 소자는 문제점으로 지적되어온 소자의 수명 및 적색 소자의 효율등이 급속히 개선되고 있어 실용화에 근접해 있다. 인광 유기 EL 소자 역시 개발 기간이 짧음에도 불구하고 급속히 진전되고 있어 현재 외부 양자 효율이 21% (내부 양자 효율 약 100%)의 녹색 인광 유기 EL 소자가 발표되고 있다. 인광 유기 EL 소자 구조는 그림 4에서 처럼 기존의 형광 유기 EL 소자와는 달리 발광층으로 밴드갭이 큰 청색 PL(photoluminescence) 물질을 일반적으로 사용하며 이러한 물질들은 HOMO 준위가 크기 때문에 정공 이동 제어층을 발광층과 전자 수송층 사이에 삽입하여 정공을 발광층에 포집시킨다. 또한 발광층의 전자 이동성이 나쁘기 때문에 구동 전압이 형광 소자에 비해 약간 크다.

인광 유기 EL 소자는 감쇠시간이 길기 때문에 소자를 통해 흐르는 전류가 증가하면, 삼중항-삼중항 소멸(Triplet-Triplet Annihilation) 기구에 의해 양자 효율이 감소하는 현상 그림 5이 있으며 이를 개선하기 위해

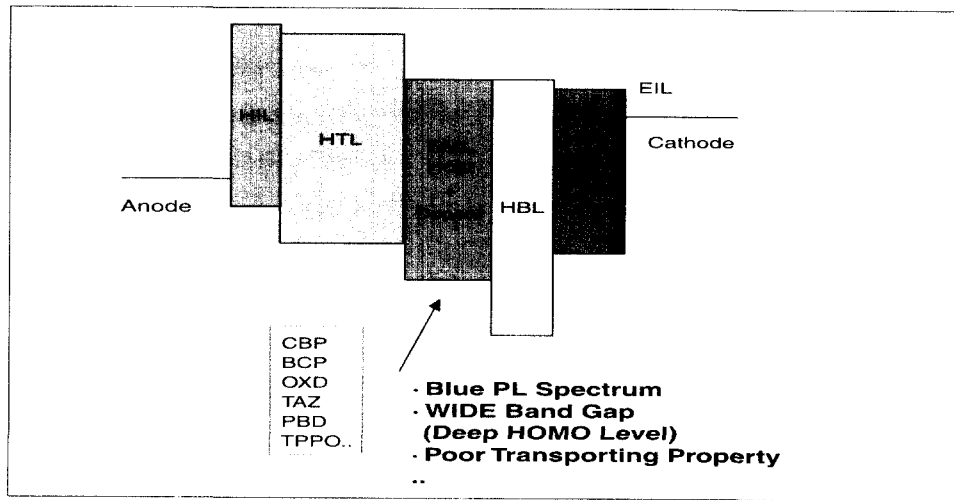


그림 4. 인광 유기 EL 소자의 에너지 준위도. HIL : Hole Injection Layer, HTL : Hole Transporting Layer, EML : Emission Layer, HBL : Hole Blocking Layer, ETL : Electron Transporting Layer, EIL : Electron Injection Layer

감쇠시간이 작은 물질이 개발되고 있다. 특히 적색 발광체인 Pt(OEP)는 감쇠시간이 약 $100\mu\text{sec}$. 정도로 아주 크기 때문에 감쇠시간이 약 $1\mu\text{sec}$. 정도인 Ir-complex를 중심으로 연구 개발이 진행되고 있으며, 최근에는 효율이 높은 청색 인광 유기 EL 물질이 개발되고 있어 총천연색 인광 유기 EL 디스플레이 개발이 촉진되고 있다. 또한 인광 유기 EL 소자는 형광 유기 EL 소자에 비해 수명이 짧은 것으로 알려져 있으며, 소자 수명은 인광 물질 자체 및 도핑 매트릭스 (발광층) 등 물질 및 소자 구조에 의해 크게 좌우된다.

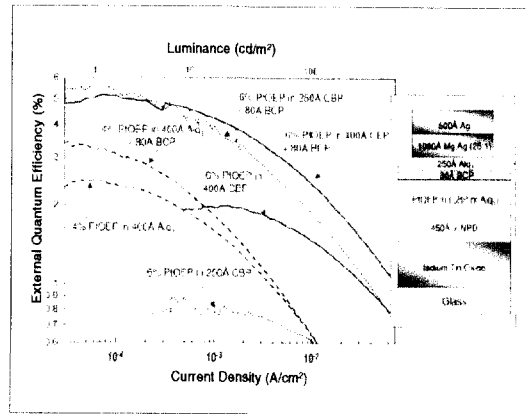


그림 5. 인광 유기 EL 소자의 전류에 따른 외부 양자 효율 변화

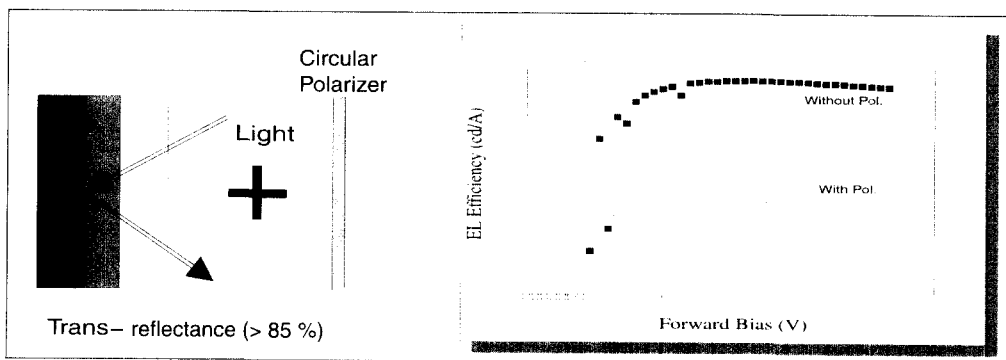


그림 6. 유기 EL 소자의 반사 및 편광판 사용시 효율 변화

3. 콘트라스트

유기 EL 소자는 음극으로 일함수가 작은 금속 박막을 주로 사용하며, 금속 박막은 반사율이 크기 때문에 결과적으로 금속 박막을 사용하는 유기 EL 소자는 콘트라스트가 좋지 않다. 명암비를 향상시키기 위해 주로 편광판을 많이 사용한다(그림 6(a)). 하지만 편광판은 그림 6(b)에서 보는 것처럼 발생된 빛을 약 50% 정도 흡수하기 때문에 소자 효율이 감소한다. 따라서 편광판을 사용하지 않고 콘트라스트를 향상시키기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 현재까지 알려진 방법은 양극과 정공 수송층 사이에 carbon을 삽입하는 방법, 음극과 전자 수송층 사이에 black carbon을 삽입하는 방법, 음극과 전자 수송층 사이에 굴절율을 조절할 수 있는 산화물을 삽입하는 방법 등이 있다.

4. 유기 EL 소자의 발광색 조절

유기 발광 소자는 무기 발광 소자에 비해 발광하는 빛이 자연스러우며 인간에게 친숙하다. 유기 EL 소자의 발광색을 조절하기 위해서 다양한 발광층 재료 및

도핑 재료 등이 연구되고 있다. 대부분의 형광 및 인광 소자는 $\pi-\pi^*$ 전이로 인하여 발광하는 빛의 스펙트럼이 넓어 색순도를 높일 필요가 있다(그림 7). 형광 유기 EL 소자의 발광 스펙트럼의 FWHM은 약 80-100nm 정도이며, Ir(ppy)₃ 혹은 Pt(OEP) 등의 인광 유기 EL 소자의 발광 스펙트럼 FWHM은 약 30-70nm 정도이다. Eu 혹은 Tb 등의 란타넘족 금속 착화합물을 이용한 인광 유기 EL 소자는 발광 스펙트럼 FWHM이 10nm 이하로 색순도가 우수하나, 소자 효율, 소자 수명 등이 개선되어야 한다. 한편 빛의 간섭효과를 이용하여 형광 및 인광 소자의 색순도를 향상시키기 위한 연구 역시 진행되고 있다. 빛의 간섭효과를 이용하면 그림 8에서 보는 것처럼 발광색의 색순도를 어느정도 향상시킬 수 있다.

5. 유기 EL 소자의 펄스 구동

유기 EL 소자를 디스플레이에 응용하기 위하여, 또한 소자의 전하 주입 및 재결합 특성을 연구하기 위해 펄스 구동 특성에 관한 연구가 진행되고 있다. 그림 9에서 보는 것처럼 소자에 펄스를 가하면 빛의 세기는 시간

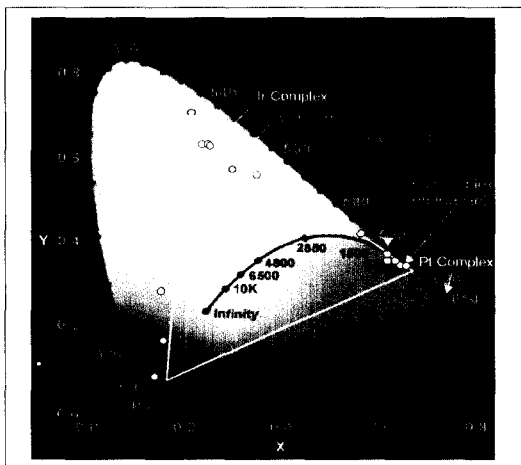


그림 7. 발표된 유기 EL 소자의 색차표

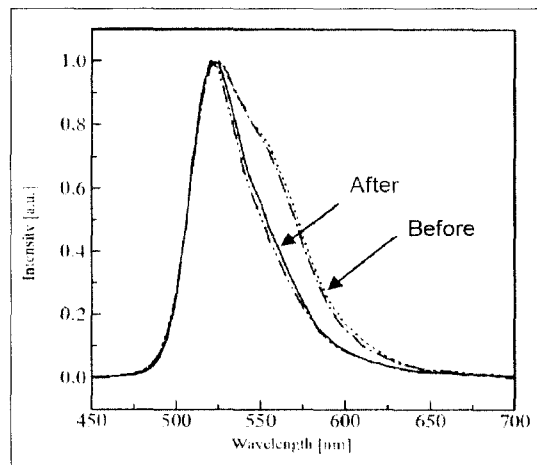


그림 8. 유기 EL 소자 각 층에서 빛의 간섭 현상을 이용한 발광 스펙트럼 조절

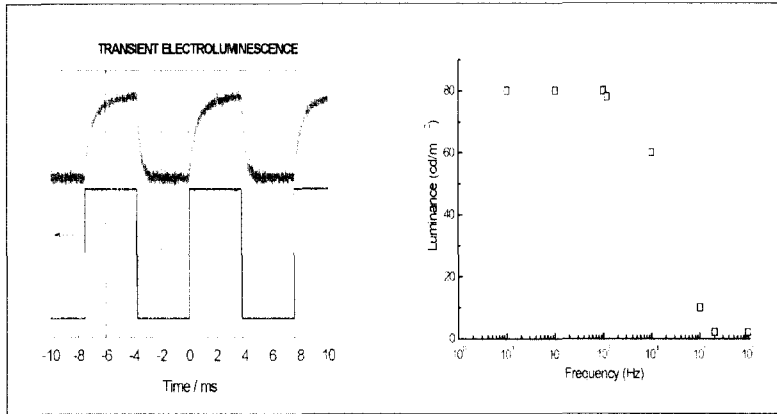


그림 9. 유기 EL 소자의 Transient EL 현상과 펄스 구동시 휘도 변화

에 따라 지수 함수적으로 증가하며, 소자에 전압을 제거하면 빛은 시간에 따라 지수 함수적으로 감소한다. 시간에 따른 빛의 세기 증가 곡선과 세기 감소 곡선은 일반적으로 대칭이 아니다. 빛의 세기 증가 곡선은 소자의 전하 주입 특성, 구동 전압, 소자의 용량(capacitance) 등에 의해 변화하며 일반적으로 전하 주입이 용이할수록 빛의 세기는 시간에 따라 급속히 증가한다. 빛의 세기 감소 곡선은 PL 감쇠시간, 소자의 용량, 발광층 재료 등에 의해 좌우되는 것으로 알려져 있다. 이러한 Transient EL 현상으로 인해 펄스 구동시 소자의 휘도는 구동 주파수에 따라 변한다. 그림 9(b)는 소자의 구동 주파수 특성을 나타낸 것으로 약 1KHz 까지는 휘도가 변화하지 않으며, 그 이상에서 소자가 동작할 경우 휘도는 감소한다.

IV. 유기 EL 소자의 디스플레이 응용

유기 EL 디스플레이는 구동 방법에 따라 수동 구동 및 능동 구동으로 나뉘어진다. 수동 구동 유기 EL 디스플레이는 그림 10에서 보는 것처럼 양극의 버스선과 음극의 버스선이 서로 교차되는 부분에 유기 EL 소자

(픽셀)를 놓으며, 순차 펄스 구동(line by line scanning) 방식으로 구동한다. 유기 EL 소자는 응답시간이 빠르며, 전압이나 전류 등의 정보를 저장하지 않기 때문에 구동 펄스가 제거되면(소자가 OFF 상태가 되면) 곧바로 OFF 상태가 된다. 따

라서 상업적으로 사용될 수 있을 정도의 디스플레이 휘도를 유지하기 위해선 ON 상태에서 빛의 휘도가 아주 밝아야한다. 그 일례로 100개의 선을 순차 구동할 경우, 100배 이상의 순간 휘도가 필요하다. 이러한 순차구동 특성으로 인하여 수동 구동 유기 EL 디스플레이는 순간 전류 및 순간 전압이 실제 소자의 구동 전압에 비해 아주 크게 된다. 따라서 수동 구동 유기 EL 디스플레이의 소비전력은 해상도 및 패널의 크기가 증가할수록 급격히 증가한다. 표 1은 디스플레이 패널 크기 및 해상도에

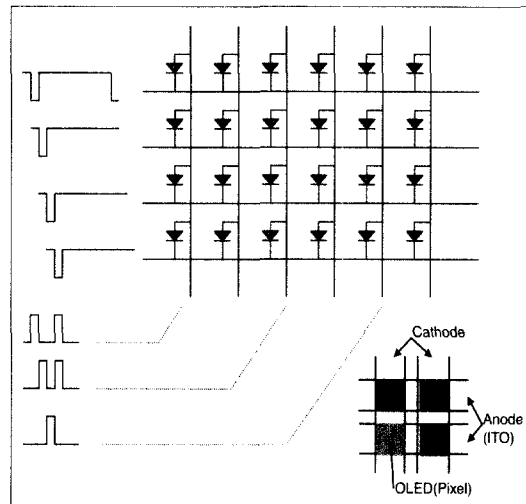


그림 10. 수동 구동 유기 EL 디스플레이의 개념도

표 1. 수동 구동 유기 EL 디스플레이의 해상도 및 패널 크기에 따른 소비전력

Resolution		Diagonal	Plight	Pcap	Pres	Ptotal	Efficiency
Column	row	(inch)	(mW)	(mW)	(mW)	(mW)	(mW)
80	60	1.2	23	18	0	41	2.46
96	64	1.8	72	73	1	146	1.71
160	120	2.4	110	199	3	312	1.3

따른 소비전력을 표시한 것으로 표시 해상도가 작고, 패널 크기가 작을 경우 수동 구동 유기 EL 디스플레이는 소비전력이 작으나 5인치 QVGA 이상의 패널에서는 소비전력이 급격히 증가하여 10인치 급의 디스플레이에서는 소비전력이 70W 이상으로 상용화에 적합하지 않다. 유기 EL 소자의 효율 증가, 구동 전압 감소, 배선의 저저항화 기술, 저소비전력 구동 IC의 개발 등에 의해 수동 구동 유기 EL 디스플레이의 소비전력 증가를 억제하려는 연구가 시도되고 있다.

능동 구동 유기 EL 디스플레이는 그림 11에서 보는 것처럼 한 유기 EL 소자 (픽셀 혹은 도트)당 한 개 이상의 Transistor를 사용하여 각 소자 별로 ON/OFF를 조절하며, 저장용량을 이용하여 정보를 저장하기 때문에 수동 구동 유기 EL 디스플레이에 비해 소비전력이 작아진다. 또한 픽셀 형성 공정이 수동 구동 유기 EL 디스플레이에 비해 간단하고, 고해상도의 패널을 제작할 수 있는 장점이 있다. 유기 EL 픽셀을 구동하기 위한 트랜지스터는 일반적

으로 출력전류가 큰 단결정 혹은 다결정 실리콘 TFT를 사용하며, 대면적에서 저가형으로 디스플레이 패널의 제작을 위해 주로 저온 다결정 실리콘 TFT가 사용된다. 유기 EL 소자는 전류 구동 방식이 유리하기 때문에 유기 EL 소자를 구동하기 위한 픽셀회로는 기존의 전압구동방식의 LCD와는 다르다. 전류 구동을 위해서는 2개 이상의 트랜지스터가 필요하다. 또한 저온 다결정 실리콘 TFT의 사용시 균일도가 좋지 않은 문제를 보완하기 위하여 3개 이상의 TFT를 사용하는 것이 일반적이다 (그림 12). 3개 이상의 TFT 및 보조용량의 사용시 TFT 및 보조 용량이 차지하는 면적이 증가하여 실제 빛이 나오는 영역은 작아지게 되어 개구율이 감소한다. 개구율의 감소는 적절한 디스플레이 휘도를 위하여 픽셀 소자

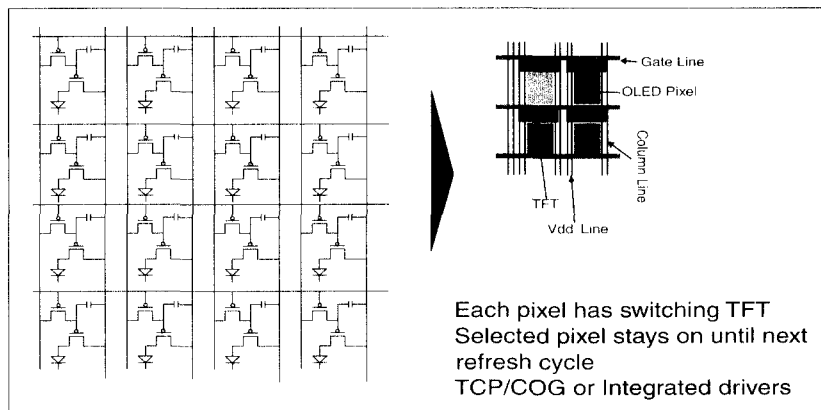


그림 11. 능동 구동 유기 EL 디스플레이의 개념 및 특징

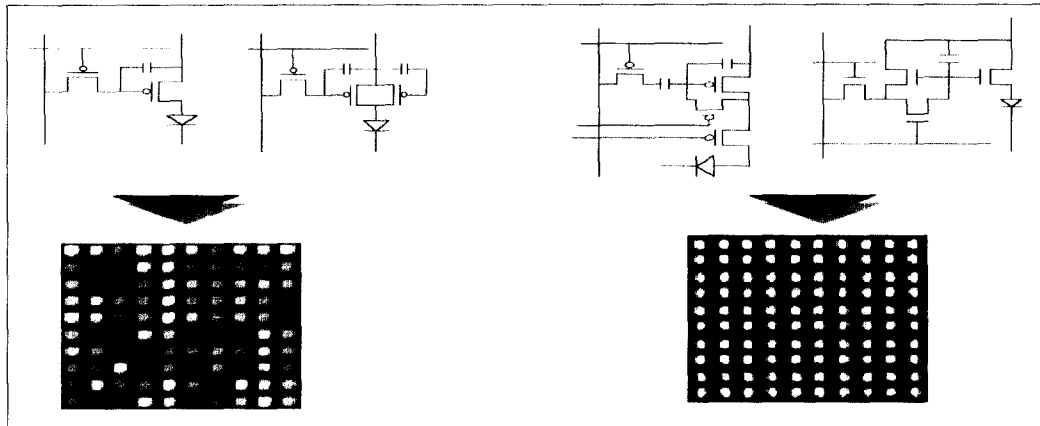


그림 12. 능동 구동 유기 EL 디스플레이의 픽셀 구동 회로에 따른 발광 균일도

에 가해지는 전류 및 전압이 증가를 가져오기 때문에 소비전력의 증가 및 디스플레이 수명의 감소가 유발된다. 최근에 소니등에서는 이러한 개구율 감소에 의한 소비전력 증가 및 수명 감소를 보상하기 위하여 면발광(Top emission) 방식을 채용하였다(그림 13). 면발광 방식은 빛이 기관의 반대방향으로 방출되도록 하는 방식으로 기존 유기 EL 소자와는 다르다. 면발광 유기 EL 소자는 양극으로 불투명하며 일함수가 큰 Pt, Au 등의 귀금속 계열이 많이 사용된다. 또한 음극을 통하여 빛이 방출되기 때문에 음극은 광이 투과되도록 투명전도성

산화막 혹은 투명한 전도성 물질이 사용된다. 이 경우 투명 전도성 산화막 혹은 기타의 물질은 일함수가 크기 때문에 전자의 주입이 용이하지 못하며, 이를 보상하기 위해 음극과 전자수송층 사이에 약 10nm 이하의 저일함수 반투과 금속 삽입된다. 또한 전도성 산화막의 증착시 유기물 층이 쉽게 손상되어 픽셀소자의 단선이 많이 생기며 이를 보완하기 위한 저에너지 투명 전도성 산화막 증착에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.

V. 국내외 연구개발 동향

현재 미국, 영국, 일본, 대만, 독일 등 해외의 여러 기업에서 유기 EL 재료의 연구 및 생산 부문에서 활발한 연구가 진행되고 있으며, 서서히 상용화 단계에 들어가고 있다. 하지만 아직까지 대규모의 제품 생산을 단행하고 있는 기업은 없는 실정이며, 제품 패널의 크기 또한 수 인치 내의 소형 제품이 주류를 이룬다. 그리고 유기 EL 연구가 본격적으로 시작된지 얼마되지 않는데다 상당 부분의 기본특허를 미국 Eastman Kodak 사, 영국 CDT, 미국의 UDC 등의 일부 기업이 보유하고 있어 합작 회사의 설립 및 특허 공여를 통한 제휴 관계가 활발

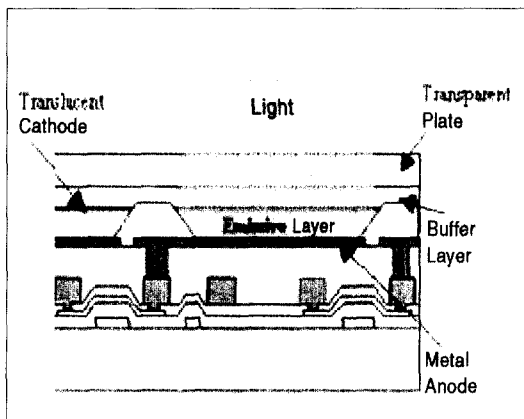


그림 13. 소니사에서 발표한 면발광 능동 구동 유기 EL 디스플레이 픽셀 구조

표 2. 주요 유기 EL 기업의 연구 개발 동향

기업명	국가	재료	구동방법	상용화시기
CDT	영국	고분자		원천특허보유
Eastman Kodak	미국	저분자		원천특허보유
Dupont	미국	고분자	수동구동	
Siemens	독일	고분자		2002년경
Philips	네델란드	고분자	수동구동	2002년경
Sony	일본	저분자	능동구동	2002년경
Toshiba	일본	고분자	능동구동	2003년경
Pioneer	일본	저분자	수동/능동	1998년/2003년경
Sanyo	일본	저분자	능동/수동	2002년/2001년
SNMD	한국/일본	저분자	수동	2001년
LG전자	한국	저분자	수동	2001년

립하여 2001년 후반부터 휴대폰용 유기 EL 패널을 출시할 예정이며, 삼성 SDI는 최근에 세계 최초로 15인치 급의 능동 구동형 유기 EL 패널을 발표한 바 있다. 또한 LG 전자 역시 2001년 후반부터 유기 EL 패널을 출시할 예정이며, 이 밖에 LG Philips LCD, 삼성 전자, 현대 전자, 오리온 전기, SK 등의 대기업과 네스 디스플레이, CLD, Eliatech 등의 중소 벤처 기업에서 유기 EL 디스플레이 상용화에 노력하고 있다.

히 진행되고 있다.

유기 EL 디스플레이 패널을 개발하기 위해서는 우선 유기 EL 소재와 부품이 선행되어야 하며 화소를 구동하는 poly-Si TFT 제반 기술, 그리고 전압 또는 전류 구동을 제어할 수 있는 구동 회로 집적 기술이 동일 기관 위에서 이루어져야 하기 때문이다.

또한 현재 양산을 앞두고 있는 기업들마다 EL 재료 및 구동 방식을 선택하는데 있어서 차이가 나고 있다. 이는 유기 EL 디스플레이를 구현하는데 적용할 수 있는 기술 분야가 폭넓다는 의미도 되겠지만 한편으로는 아직 표준적인 제조 방식이 확립되지 않아 상호 기술간 치열한 경쟁상태가 진행되고 있는 실정을 간접적으로 드러낸다고 볼수 있다. 표 2는 주요 기업들과 각 기업들이 적용하고 있는 EL 재료 및 구동 방법을 보여주고 있다.

한편 국내에서는 1996년에 들어서 대학 및 연구소, 그리고 기업체 등이 참여한 유기 EL 소재를 위한 연구 개발 콘소시움이 형성되었고 여러 학술 대회에서 유기 EL 소재 관련 개발 성과를 활발하게 발표하는 등 기초 기술 측면에서 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 제품 측면에서 역시 연구 개발이 활발하게 진행되고 있다. 삼성 SDI는 일본 NEC와 SNMD라는 합작회사를 설

VI. 시장 및 향후 전망

차세대 디스플레이로 부각되고 있는 유기 EL 디스플레이는 올해 8,400 백만 달러의 시장을 형성하고 2007년에는 16억 달러 규모로 급성장할 것으로 전망되고 있다. 미국의 시장조사 기관인 스탠퍼드리소스 (SRI)의 유기 EL 시장 전망 최근 보고서에 따르면 유기 EL은 디지털 가전과 통신 수요의 성장에 힘입어 올해부터 2007년까지 연평균 63%의 성장률을 기록하면서 시장 규모를 늘려나갈 것이라고 전망했다. 이외에도 미국의 또 다른 디스플레이 시장 조사 기관인 디스플레이 서치

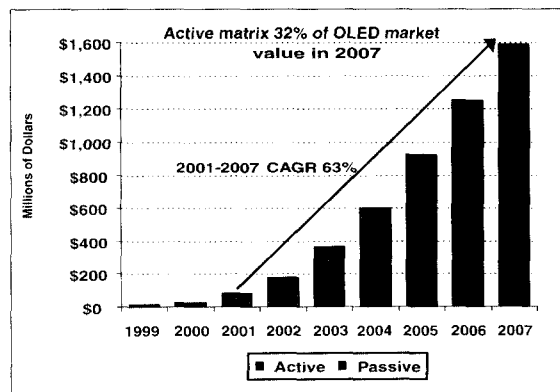


그림 14. 유기 EL 디스플레이 SRI 시장 예측

의 경우 2005년까지 약 7억 달러 이상의 규모로 성장하게 되고 유기 EL 기술을 적용 가능한 제품 분야를 총망라할 경우 2005년까지 최고 35억 달러의 시장규모를 형성하게 될 것이라고 예측한 바 있다. 이렇게 두 기관의 시장 전망 의견이 유기 EL의 고도 성장에는 의견을 같이하지만 다른 수치를 보이는 이유는 아직 미성숙 단계에 있는 유기 EL 기술 때문인 것으로 보인다. 하지만 수요에 있어서 이동전화와 디지털 가전, 자동차용 등 5인치 이하의 소형 디스플레이 분야의 초기 상용화는 유기 EL이 주도할 것이라는 것이 업계의 공통된 전망이다. 또한 고화질을 구현하는 능동 구동 유기 EL 디스플레이

레이는 2004년까지 소규모의 시장을 형성한 이후 급성장하여 2007년 정도에 5억 달러 이상의 시장을 형성하게 될 것이라는 것이 SRI의 전망이다.

그림 14는 SRI에서 2001년 4월에 발표한 년도별 유기 EL 디스플레이 시장 규모의 예측자료이다. 이 자료에 의하면 유기 EL 디스플레이 시장 규모는 2005년에 약 8억 7천만 달러, 그리고 2007년에는 15억 9천만 달러에 이르러 연평균 성장률이 약 63%에 이를 것으로 예측하고 있으며 그 중에서 능동 구동 유기 EL 디스플레이가 2007년에는 약 32%를 차지할 것으로 예상하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] "SID1997 Seminar Lecture Note", SID' 97 (1997)
- [2] "SID1998 Seminar Lecture Note", SID' 98 (1998)
- [3] C.W. Tang, S.A. Van Slyke, Appl. Phys. Lett. 51, 913 (1987)
- [4] C.W. Tang, S.A. Van Slyke and C.H. Chen, J. Appl. Phys. 65, 3610 (1989)
- [5] J. H. Burroughes, et. al, Nature 347, 359 (1990)
- [6] OLED 2000, Stanford Resource, Inc. (2000)
- [7] M.A. Baldo, et.al, Nature 395, 151 (1998)
- [8] M.A. Baldo, et.al, Pure Appl. Chem. 71, 2095 (1999)
- [9] EL2000 conference note, Hamamatsu, (2000)
- [10] SRI 2001 note, SRI (2001)
- [11] OLED 2001, Stanford Resource, Inc. (2001)
- [12] Sony press release report (2001)
- [13] Toshiba press release report (2001)
- [14] SID 1999, Digest of Technical Papers (1999)
- [15] SID 2000, Digest of Technical Papers (2000)
- [16] SID 2001, Digest of Technical Papers (2001)
- [17] Philips research report (2000)

필자소개



문 대 규

- 1984년~1988년 : 연세대학교 요업공학과 학사
- 1988년~1990년 : 한국과학기술원 재료공학과 석사
- 1990년~1994년 : 한국과학기술원 전자재료공학과 박사
- 1993년~1998년 : LG전자 LCD 사업부(현 LG-Philips LCD) 선임연구원
- 1999년~2000년 : 옥스퍼드대학 재료공학과 Post Doc.
- 2000년~2001년 : 스마트디스플레이 연구소장
- 2001년~현재 : 전자부품연구원 책임연구원
- 주관심분야 : 유기 EL 디스플레이, TFT-LCD 등의 평판디스플레이 분야



한 정 인

- 1983년 : 연세대학교 금속공학과 학사
- 1985년 : 한국과학기술원(KAIST) 재료공학과 석사학위 및
- 1989년 : 한국과학기술원(KAIST) 재료공학과 공학박사
- 1989년~1992년 : 삼성전자 반도체연구소
- 1998년~2000년 : 경기대학교 첨단산업공학부 신소재공학전공 겸임교수
- 1992년~2000년 : 전자부품연구원 디스플레이 기술 그룹, 그룹장, 수석연구원