Special

Thema | AMOLED 기술

문대규 교수
(순천향대 신소재공학과)

1. 서 론

OLED (Organic Light Emitting Diodes)는 양극과 음극 사이에 기능성 유기박막이 삽입되어 있는 구조로, 양극에서 정공이 주입되며, 음극에서 전자가 주입되어, 유기물 층에서 이동하면서, 유기물 층에서 전자와 정공의 재결합에 의해 여기자가 형성되며, 여기자가 기저 상태로 이동함에 의해 특정한 파장을 갖는 빛이 발생되는 소자이다. OLED는 소자의 전기적인 특성이 LED와 유사하며, 발광층으로 유기물을 사용하기 때문에 유기발광다이오드 혹은 유기발광소자(Organic Light Emitting Device)라고 하며, 소자의 양단에 전압을 가하면 유기물 층에서 전자와 정공의 재결합에 의해 발광이 일어나기 때문에 유기EL (Organic Electroluminescence) 소자라고도 한다. OLED는 자발광 특성을 갖고 있기 때문에 백라이트 등의 보조광원이 불필요하며, 시야각이 넓어 디스플레이로서 손색이 없고, 응답속도가 마이크로초 이하이기 때문에, 동영상 구현에 적합하며, 백라이트 등의 보조광원이 불필요하기 때문에 아주 얇은 디스플레이의 제작이 가능하며, 구동전압이 낮기 때문에 구동회로 부분이 간단하고, 동작온도 범위가 넓어 잠재 응용 범위가 넓으며, 플렉서블 기판을 사용할 수 있어 차세대 디스플레이인 플렉서블 디스플레이 등에도 대응이 가능하다.

유기물에서의 발광현상은 1960년대 초에 처음 발견되었으나 1980년 초 Eastman Kodak의 C. W. Tang에 의해 10 V 이하의 구동전압 및 1 lm/W의 효율, 1,000 cd/m^{2}의 휘도를 갖는 박막형태의 Hetero-junction 구조가 보고되어 관심을 끌게 되었으며 1990년 Cambridge에서 PPV를 이용한 고분자 발광물질이 개발되면서 저분자와 고분자로 나뉘어 발전해 오고 있다. OLED는 발광재료에 따라 고분자와 저분자로 나뉘며 이에 따라 제조공정이 달라진다. 저분자의 경우는 열증착 방법으로 성막하며 효율 및 수명이 좋은 것으로 알려져 있는 반면, 고분자는 통상 PLED(Polymer Light Emitting Diode)라고 하며 Inkjet 또는 스핀코팅 방법을 사용하여 성막함

하여 초기 투자비가 적고 대면적화가 유리한 장점이 있다. 저분자 재료는 주로 Shadow Mask를 사용하는 진공 증착법에 의해 박막의 형태로 증착되며, 효율 및 신뢰성이 우수하며, 칼라의 구현이 용이하여 대부분의 기업에서 OLED 생산에 적용하고 있다. 고분자 재료는 주로 용액 공정에 의해 박막으로 코팅되고 있으며, 유럽의 일부 기업에서 단색 OLED 생산에 적용하고 있다. 고분자 OLED의 칼라 구현을 위해선 잉크젯 코팅 방법이 주로 사용되고 있다. OLED는 발광방식에 따라 인광(Phosphorescent) 및 형광(Fluorescent) 방식으로 구분되며, 최근 인광 방식이 각광을 받고 있다. 형광 OLED는 재결합된 여기자의 25 %만을 발광에 이용할 수 있기 때문에, 내부양자효율이 25 %이며, 외부양자효율이 약 5 %이나, 인광 OLED는 재결합에 의해 형성된 여기자를 모두 발광에 이용할 수 있기 때문에, 내부양자효율이 100 %이며, 외부양자효율이 약 20 %로 형광 OLED에 비해 이론 효율이 4배 크기 때문에 최근 각광을 받고 있다. OLED는 구동 방식에 따라 수동형(PMOLED)과 능동형(AMOLED)으로 나뉘며 수동형의 경우 양극 배선과 음극 배선 사이에 유기물이 삽입된 단순 구조로 되어 있어 제작이 용이하며, 소형 제품에 응용되고 있다. 능동형의 경우에는 각각의 화소마다 TFT가 붙어있어 화소를 구동시키므로 소비전력이 작고 해상도가 우수한 장점이 있다. 수동구동방식은 구조가 간단하고 제조공정이 단순하여, 생산투자비가 적고 저가격으로 제조가 가능한 반면, 듀티비로 인해 고해상도의 구현 및 대면적으로의 제조가 어려우며, 크로스톡 등이 쉽게 생겨, 소면적의 범용 디스플레이 적합하다. 능동구동방식은 각각의 화소를 트랜지스터 등의 스위칭 소자에 의해 직접 조정하며, 듀티비가 약 1이기 때문에 소비전력이 수동구동방식에 비해 훨씬 작으며, 화질이 또한 우수하여, 대면적의 고해상도 디스플레이 구현에 적합하다. 따라서 품질이 우수한 디스플레이의 제작이 가능한 AMOLED 기술이 차세대 OLED 기술로서 알려져 있으며 이에 대한 광범위한 연구개발이 진행중이다. 본 논문에서는 AMOLED의 중요 기술에 대하여 고찰하고 향후 연구 개발 방향에 대하여 살펴보고자 한다.

2. AMOLED 기술 현황

2.1 AMOLED Backplane 기술

OLED의 Backplane으로는 그림 1에 나타낸 것처럼 비정질 Si TFT, 다결정 Si TFT, 유기 TFT 등이 주로 연구되고 있다. 신뢰성 및 이동도가 우수한 레이저 결정화 방식의 LTPS (Low Temperature Poly-Si) TFT가 주로 사용되고 있으나, Non-laser 방식의 LTPS TFT, 비정질 Si TFT, 미세결정질 Si TFT, Organic TFT 등이 개발되고 있어, 향후 저가격에서 신뢰성이 높은 대면적 TFT Backplane의 개발이 예상되고 있다.

LTPS TFT는 이동도가 우수하여 전류 구동능력이 좋고, 신뢰성이 우수하여 시간에 따른 전류 변화가 적으나 결정립의 크기 분포로 인하여 TFT 간의 특성 균일도가 감소하는 단점이 있다. 또한 최대로 사용할 수 있는 기판 크기는 4세대 기판이며, 공정수가 많아 주로 중소형의 OLED에 적합한 것으로 알려져 있다. 비정질 Si TFT는 최대로 사용할 수 있는 기판 크기가 7~8 세대이며, 공정수가 적어 대형 OLED에 유리하지만 전류구동능력이 낮고, 시간에 따른 Vth 변화 등 TFT 특성 변화로 인하여 이를 억제하기 위한 기술개발이 필요하다. 최근 비정질 Si TFT과 공정 호환성을 유지하며 시간에 따른 Vth 변화가 적은 미

Amorphous Si TFTs	Poly-Si TFTs	Organic TFTs
• 이동도 : < 1 cm^2/Vs - 전류 구동 능력이 낮음 신뢰성 개선이 필요 7~8세대 기판 4 ~ 5 Mask	• 이동도 : 5 ~ 500 cm^2/Vs - 전류 구동 능력이 좋음 신뢰성 양호 4세대 기판 6 ~ 8 Mask	• 이동도 : < 10 cm^2/Vs - 전류 구동 능력이 좋음 신뢰성 개선이 절대 필요 - -

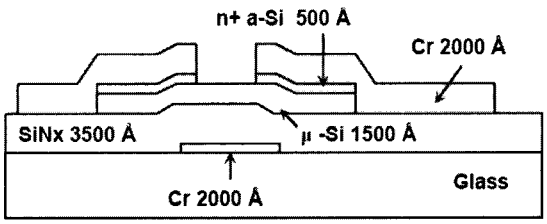
그림 1. AMOLED를 위한 TFT Backplane의 종류 및 특성.

세결정질 Si TFT가 개발되고 있다. 미세결정질 Si TFT는 낮은 증착속도 및 막의 균일도 등에 대한 개선이 필요하나 향후 가능성이 높은 기술이다. 최근 AMOLED의 구동소자로 Organic TFT 소자가 연구되고 있으나 아직 TFT의 신뢰성, 제조공정 등 기술 성숙도가 낮다.

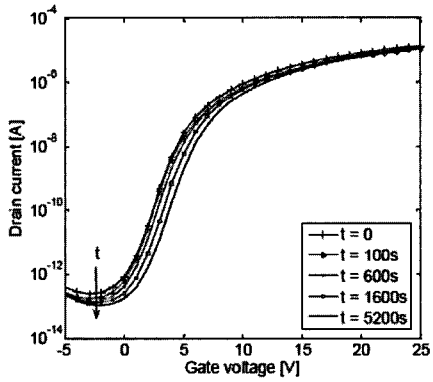
레이저를 이용한 LTPS TFT Backplane의 제조원가 절감 및 대형 기판 대응 능력을 향상시키기 위해 MIC (Metal Induced Crystallization), MILC (Metal Induced Lateral Crystallization), SGS (Super Grain Silicon) 등 다양한 Non-laser 방식의 결정화 공정이 개발되고 있어 향후 레이저 방식은 Non-laser 방식에 의해 대체될 가능성이 높다.

2.2 OLED 소재 기술

녹색의 저분자 형광재료인 Alq_3를 이용하여 3~5 cd/A의 효율 및 약 100시간의 반감수명을 갖는 소자가 발표된 이후로 OLED의 효율 및 수명은 지속적으로 개선되어 최근에는 녹색재료의 경우 20 cd/A 이상의 효율 및 100,000 시간 (휘도 1000 cd/m^2 기준) 이상의 수명이 보고되고 있으며, 청색재료의 경우 약 8 cd/A의 효율 및 23,000 시간의 수명이 보고되고

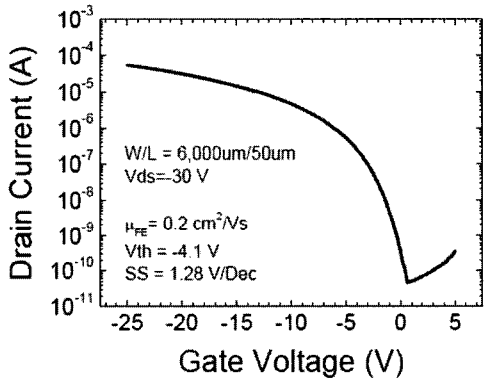


(a)

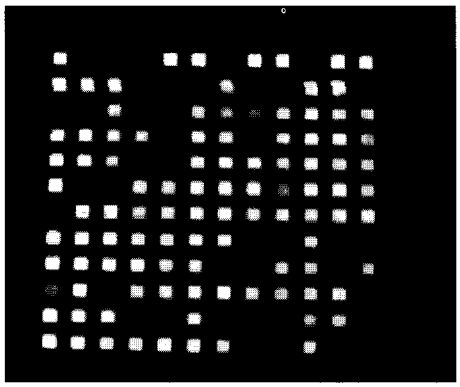


(b)

그림 2. 미세결정질 Si TFT의 구조 및 시간에 따른 전기적 특성 변화(Couches Minces, SID2006 Technical Digest).



(a)



(b)

그림 3. Pentacene organic TFT의 전기적 특성 및 이를 이용한 OLED 어레이(LG전자, SID 2006 Technical Digest).

있다.

적색 인광발광재료인 Pt(OEP)가 발표된 이후로 인광재료의 효율 및 수명 또한 지속적으로 개선되어 현재 21 cd/A의 효율 및 200 cd/m^{2}을 기준으로 17,500 시간의 수명이 보고되고 있으나 색좌표 특성이 (0.16, 0.19)로 색순도의 개선이 필요하며 기준 휘도가 낮아 수명이 상대적으로 짧다. 고분자재료는 저분자 재료에 비해 효율 및 수명이 상대적으로 짧으며 이의 개선이 요구되고 있음. 특히 상대적으로 짧은 수명은 소자 구조의 최적화와도 관련이 있어 최근에는 정공주입/수송층인 PEDOT:PSS 층과 발광층 사이에 고분자를 삽입하는 3층 구조의 PLED (Polymer Light Emitting Diode)가 개발되고 있어 효율 및 수명이 개선이 기대된다.

동북파이오니아가 금속 캔 방식으로 양산을 시작하면서 삼성SDI 등에서 PMOLED의 제작을 위해 금속 캔 방식을 채용하여 사용하고 있으나, 유리캔을

표 1. Idemitsu Kosan 형광발광재료의 특성.

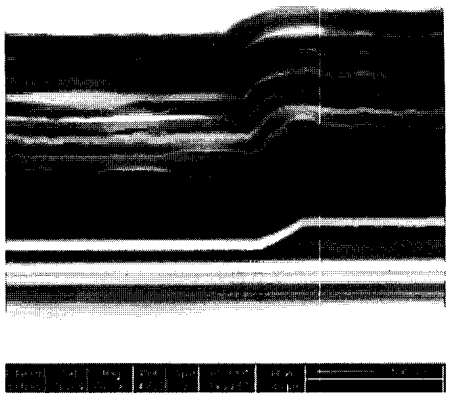
발광색	제품명	색좌표 (x,y)	효율 (cd/A)	수명 (hr) @1,000 cd/m^2
청색	BD-1	(0.14, 0.20)	7.9	17,000
	BD-2	(0.13, 0.22)	8.7	23,000
	BD-3	(0.14, 0.16)	7.2	12,000
녹색	GD-1	(0.29, 0.64)	20.5	100,000
	GD-2	(0.25, 0.62)	15.9	100,000
	GD206	(0.32, 0.62)	19	40,000
적색	RD-2	(0.67, 0.33)	11.4	> 100,000
백색	RD-2, BD-1, GD206	(0.33, 0.39)	16.1	> 70,000

▲ 자료 : Idemitsu Kosan, IMID 2006

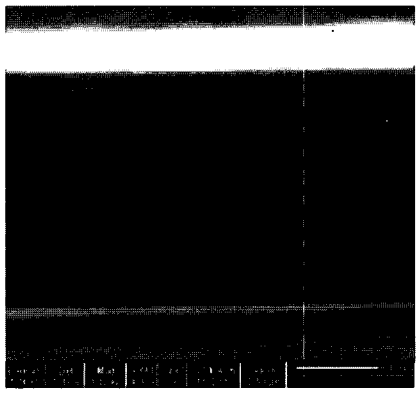
표 2. 고분자 발광재료의 특성

발광색	효율 (cd/A)	수명 (hr) @100 cd/m^2
청색	9	20,000
녹색	16	60,000
적색	11	80,000
백색	7	140,000

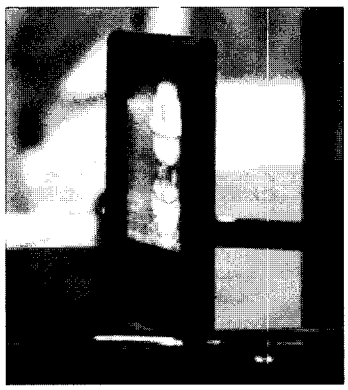
▲ 자료 : Sumation 발표자료, 2006년



(a)



(b)



(c)

그림 4. 박막봉지의 FIB 단면도 및 이를 이용한 AMOLED (CPT, SID 2006).

이용하는 방식은 봉지 두께를 줄일 수 있는 장점이 있어 PMOLED에 또한 사용되어 왔다. AMOLED의 경우 최근 TFT-LCD의 모듈 두께가 얇아짐에 따라 LCD와의 경쟁을 위해 봉지 두께를 얇게 하는 기술이 중요해 지고 있으며, 중소면적에서 고해상도의 구현에 유리한 전면발광 AMOLED를 이용하여 양산이 진행될 것으로 예측됨에 따라 기존에 사용하던 금속 혹은 유리 캔에 제습제를 부착하여 사용하는 방식의 이용이 어려워져 보호막 및 유리 기판을 이용하는 Hybrid 방식의 봉지기술이 개발되고 있다. 또한 아직까지는 복합층이 이용되어 실용화에 어려움이 있지만 많은 연구개발팀에서 실용화가 가능한 박막형태의 봉지기술이 개발되고 있어 향후 박막봉지 기술이 적용될 것으로 기대된다.

2.3 각 업체의 AMOLED 기술 현황

삼성SDI는 2001년 세계최대의 풀 컬러 15.1인치 AMOLED를 개발하였으며, 2004년 세계최대의 17인치 UXGA AMOLED를 개발하였다. 최근에는 2005년 11월부터 AMOLED의 본격적인 생산을 위하여 대규모의 설비를 투자하기 시작하여 2007년부터 양산을 시작하고 있다. 삼성전자는 주로 a-Si TFT Backplane을 이용하여 대면적 AMOLED를 중점적으로 개발하고 있으며, 최근에는 미세결정질 Si TFT 등의 Backplane 기술 개발도 병행하고 있다. 삼성전자는 2005년에 a-Si TFT Backplane을 이용하여 21인치와 40인치 AMOLED를 개발하였으며, 대면적 AMOLED의 개발을 위하여 고분자를 이용한 잉크젯 프린팅 기술, 백색OLED와 컬러필터를 사용하는 기술 등을 개발하고 있다. 최근에는 미세결정질 Si TFT Backplane을 이용한 AMOLED를 발표하였다.

LG전자는 LG필립스LCD에서 LTPS Backplane을 공급받아 AMOLED를 개발하고 있다. 2004년 LG필립스LCD와 공동으로 LTPS TFT Backplane을 이용하여 20.1인치 XGA(1280 x 800) AMOLED를 개발하였으며, Top Emission 방식, Dual Emission 방식의 AMOLED 등도 개발하여 발표하였다. LG필립스LCD는 2006년 2월 코닥과 기술협약을 체결하고 구미의 TFT-LCD 양산라인에 AMOLED 제조 장비를 투자하였으며, 휴대폰용 2.4인치 QVGA AMOLED를 생산할 계획이다. 일본의 Toshiba-Matsushita Display는 AMOLED에 대한 연구개발을 지속적으로 수행하고 있으며, 양산계획도 발표한 바 있으나 아직 양산에 이르지는 못하고 있다. 2002년 고분자를 이용하여 17인치 XGA를 개발하였으나 이후 저분자로 전환하여 중소형 AMOLED를 개발하고 있다.

일본의 히타치는 LTPS Backplane을 이용한 AMOLED를 개발하고 있으며 최근 데이터 및 스캔 구동회로가 내장된 2.5인치 AMOLED를 개발하였

(a) a-Si TFT 14.1″ WXGA AMOLED (고분자 잉크젯 프린팅)

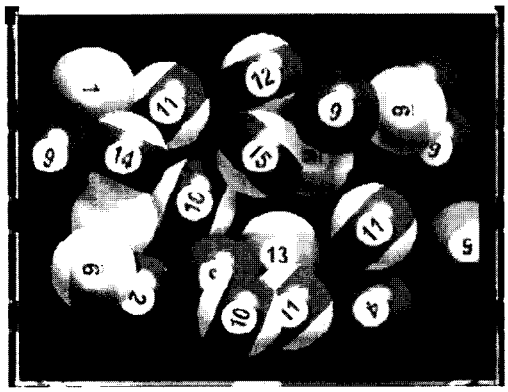
(b) μc-Si TFT 14.1″ WXGA AMOLED (Shadow Mask를 이용한 RGB 증착)

그림 5. 삼성전자에서 개발한 14.1" WXGA (삼성전자, SID 2006).

다. 한편, 일본의 소니는 LTPS를 이용한 Top Emission AMOLED를 개발하고 있으며 13인치 Top Emission AMOLED를 세계 최초로 개발하여 AMOLED 개발을 진척시켰다. 2003년 자사의 PDA 모델에 적용된 3.8인치 AMOLED를 생산하였으나 현재 생산하고 있지 않고 있다. 최근에는 미세결정질 Si TFT 및 신규로 개발된 컬러 패턴 형성 방법을 이용하여 27.3인치의 AMOLED 패널을 개발하여 전시하였다.

일본의 Sharp는 유럽연구소를 통하여 고분자 재료 및 소자를 개발하고 있으며, 일본에서는 AMOLED 패널을 개발하고 있다. 최근 잉크젯 헤드

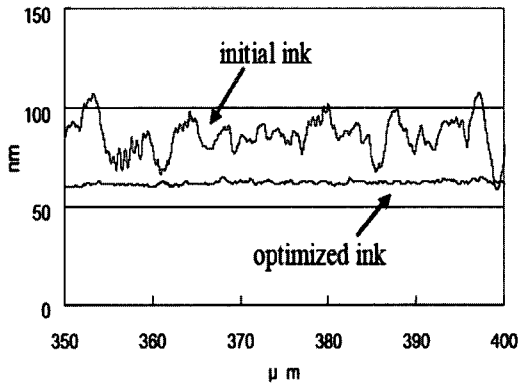
(a)



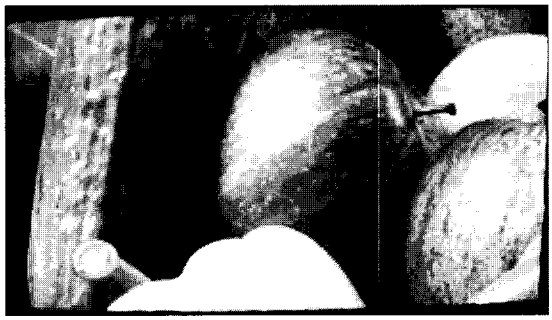
(b)

그림 6. TMD에서 발표한 17인치 (a) 및 3.5인치 (b) AMOLED.

그림 7. 소니에서 개발한 27.3인치 AMOLED 패널 (SONY, 2007 SID 발표자료).



(a)



(b)

그림 8. 샤프에서 발표한 잉크젯 잉크의 특성 및 AMOLED (샤프, SID 2006).

의 개선 및 잉크의 개선을 통하여 3.6인치 202 ppi의 고해상도 고분자 AMOLED를 개발하였다.

일본의 Seiko-Epson은 LTPS Backplane 및 고분자 잉크젯을 이용한 AMOLED를 개발하고 있음. 휴대전화 및 디지털카메라 시장을 목표로 연구개발을 수행하고 있다. 2004년에는 20인치의 OLED를 붙이는 타일링 방식에 의해 40인치 WXGA AMOLED를 개발하였으며, 이후 지속적으로 중소형 OLED를 개발 발표하고 있음. 2006년 ~ 2007년에 양산 계획을 발표한 바 있으나 아직 양산이 시도되고 있지는 않고 있다. 대만의 AUO는 135 ppi의 Shadow Mask를 이용하여 270 ppi의 해상도를 갖는 3인치 VGA AMOLED를 발표하여, Shadow Mask를 이용하여 고해상도의 AMOLED를 구현할 수 있는 방법을 제시하였다. 대만의 CMEL (CMO 자회사)은 Non-laser 방식의 LTPS TFT AMOLED를 개발하고 있음. 최근 TV용 25인치 AMOLED를 개발하여 발표하였으며, 2007년 AMOLED 양산을 계획하고 있다.

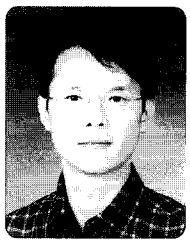
3. 결 론

AMOLED는 차세대 디스플레이로 산업의 규모가 급속히 성장할 것은 의심의 여지가 없다. 이를 가속화시키기 위해선 TFT Backplane 기술, 소재 기술, 패널 관련 기술의 개발이 절대적으로 필요하다. 특히 Backplane 기술 및 소재 기술은 AMOLED의 성장에 가장 중요한 요소로 소재 기술의 경우 국내 보다는 국외에서 개발된 기술에 주로 의존하고 있다. 따라서 이러한 분야에 있어서 국내에서의 원천 기술 개발이 더욱 절실히 필요하다.

참고 문헌

[1] 산업기술재단, "차세대 성장동력 로드맵 - 디스플레이", 2005년
[2] SID, SID 2006 Technical Digest, 2006년
[3] KIDS, IMID/IDMC 2006 Technical Digest, 2006년
[4] iSuppli, OLED Display, 2005년
[5] 전자정보센터, "OLED의 TRM", 2005년
[6] 전자정보센터, "OLED 산업동향", 2006년
[7] 후지키메라, 2005년 액정관련시장과 장래전망, 2005년
[8] Digitimes, 2006년 10월 18일, 19일 보도자료
[9] 테크노타임즈, "유기EL 디스플레이", 1998년
[10] 차세대성장동력사업단, "차세대성장동력 OLED 워크샵", 2006년
[11] Sumation 발표자료, 2006년
[12] 삼성SDI 홈페이지
[13] TMD 홈페이지

저|자|약|력



성 명 : 문대규

◈ 학 력
· 1988년
연세대 세라믹공학과 공학사
· 1990년
KAIST 재료공학과 공학석사
· 1994년
KAIST 재료공학과 공학박사

◈ 경 력
· 1993년 – 1998년
LG-Philips LCD 선임연구원
· 1999년 – 2000년
영국 Oxford Univ. Post-Doc.
· 2000년 – 2001년
FDTech 수석연구원
· 2001년 – 2006년
전자부품연구원 책임연구원
· 2006년 – 현재
순천향대 신소재공학과 교수