

유기 ELD의 개요 및 연구동향

이 글에서는 최근 디스플레이 산업에서 가장 활발히 연구개발 되고 있는 유기 ELD의 소자구조, 발광기구, 소자특성, 풀컬러 화기술, 구동방법 등에 대한 기술 개요 및 국내외 연구동향을 소개하고자 한다.

정호균, 권장혁

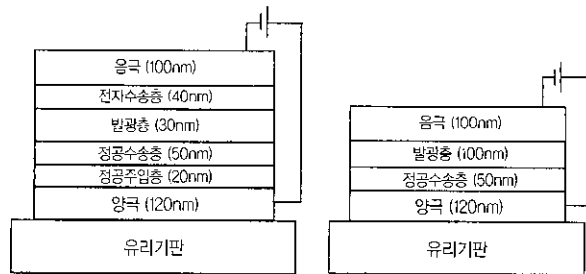
유기 ELD(Electro Luminescence Display)는 평판 디스플레이의 한 종류로서 저전압구동, 박형, 자체발광에 인한 고인식성 및 넓은 시야각, 빠른 응답속도 등의 많은 장점을 갖고 있어 현재 널리 사용되는 LCD의 결점을 해결해줄 수 있는 차세대 디스플레이로 최근 들어 매우 높은 관심을 받고 있으며, 연구개발 또한 가장 활발한 분야로 알려져 있다.

유기 ELD는 발광성 유기화합물을 양극과 음극 사이에 형성한 후 전기적으로 여기시켜 그 발광을 이용하는 디스플레이로 1960년도에 처음 전기적 발광현상이 안트라센 물질에서 처음보고 되었다. 그 후 1987년에 Kodak 사의 Tang에 의해 적층형 유기 EL 소자가 처음 연구되어 소개된 후 실용화를 목표로 활발히 연구되기 시작하였으며, 1990년도 들어서는 유기물 재료중에 전도성 고분자형 재료의 전기적 발광현상

이 영국의 케임브리지 대학에서 보고되어 고분자형 유기 ELD 연구가 진행되기 시작하였다. 현재는 저분자형 유기물을 사용하는 저분자 유기 ELD와 전도성 고분자를 사용하는 고분자 유기 ELD가 ELD의 연구의 두 분야로 경쟁하면서 연구가 진행되고 있다. 이 글에서는 현재 실용화가 급속히 진전되고 있는 유기 ELD의 소자구조, 발광기구, 소자특성, 풀컬러화기술, 구동방법 등에 대한 기술개요와 국내외 기술동향에 대하여 상세히 소개하고자 한다.

EL소자의 기본구조

유기 ELD 소자는 유기 발광재료를 음극과 양극 사이에 여러 층의 유기재료를 샌드위치로 형성된 구조로 되어 있다(그림 1 참조). 그림 1에는 현재 가장 널리 채택되어 사용되는 저분자형 유기 ELD 구조와 고분자형 유기 ELD의 구조를 나타내었다. 이 구조는 유기 ELD의 가장 일반적인 구조로서 저분자 유기 ELD는 유기물 4층 기본구조를 사용하고 있으며, 고분자의 경우는 유기물



〈저분자 유기 전계발광 소자〉

〈고분자 유기 전계발광 소자〉

그림 1 유기 EL소자의 기본 구조

- 정호균/ 삼성SDI 기술본부, 상무/ e-mail : hkchung@samsung.co.kr
- 권장혁/ 삼성SDI 기술본부, 책임연구원

2층 구조를 사용하고 있다. 그러나 한 가지 재료가 전자수송 및 발광 특성을 보유한 경우 또는 정공주입 및 정공수송 특성을 보유한 경우 등과 같은 경우 3층 이하 구조로 변경하여 보다 간단한 구조를 사용하는 경우도 많이 알려져 있다. 이러한 구조의 유기 ELD 소자의 제작방법은 저분자 유기 ELD의 경우 4층의 유기막들을 진공증착법을 통하여 순차적으로 증착하여 형성을 하고 있으며, 고분자의 경우는 용매에 고분자를 녹여 코팅 또는 프린팅 기술을 이용하여 형성을 하고 있다. 일반적으로 사용되는 재료의 계통과 종류 및 특성은 다양한 논문을 참고하시기 바란다.

발광의 원리

유기 ELD 소자에 전계를 가하면 음극에서는 전자(electron)가 양극에서는 정공(hole)이 주입되어 유기물층에서 재결합하는 경로를 통하여 발광한다. 유기물층에서는 정공을 잘 전달될 수 있도록 Hole Injection 및 Transport층을 양극쪽에 형성하고 음극쪽에서는 전자수송층을 형성하여 전자를 주입한다. 전자와 정공이 발광층에서 만나면 재결합을 통하여 여기자(Excited State)를 형성하며 여기자가 기저상태(Ground State)로 전이하면서 발광을 한다(그림 2 참조). 전자와 정공이 만나 여기상태가 만들어지면 일중항 여기상태와 삼중항 여기상태가 동시에 생성이 되며 통계적으로 1:3의 비율로 일중항

과 삼중항이 형성된다. 발광은 일중항 상태에서의 형광이 일반적으로 관측되며, 삼중항은 소멸의 열적전이가 일반적이어서 인광은 극저온 상태에서만 관측되는 것으로 알려져 있다. 이러한 이유 때문에 유기 ELD 소자의 내부 양자수율은 최고 25%라고 알려져 있으나, 최근 삼중항 상태의 인광까지 발광으로 활용이 가능한 재료가 개발되고 있어 25% 이상의 효율이 보고되고 있다.

발광기구에 대한 상세한 내용은 많은 자료에 널리 알려져 있으므로 생략한다.

유기 ELD 소자의 기본 특성

유기 ELD 소자는 앞서 발광원리에서 언급한 것과 같이 형광이나 인광을 이용하여 소자를 제작하기 때문에 전자와 정공을 주입 후에 수 μ s(형광의 경우)이나 수 ms(인광의 경우)내에 발광현상이 관측된다. 이 특징은 현재 널리 사용되는 LCD가 수십 내지 수백ms의 응답속도로 느려 동영상 표현시 자연스럽지 못한 현상이 있는데 반해 유기 ELD는 자연스러운 동영상 표현에 전혀 문제가 없다. 그리고 자체 발광특성을 갖고 있기 때문에 시야각 의존성이 없는 것이 큰 특징 중의 하나이다. 유기 ELD의 또 다른 하나의 큰 특징은 발광효율이 앞서 언급한 이론치 25%(약 10 lm/W)를 갖는 재료들이 속속 알려지고 있어 무기 ELD보다도 효율이 우수하며, 또 구동전압도 저분자 및 고분자 공히 10V 이하

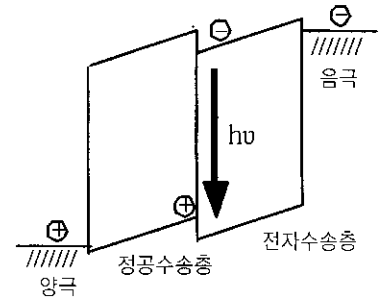


그림 2 유기ELD의 발광과정

에서 발광현상이 관측되어 소자의 소비전력이 매우 낮다. 최근까지 저소비전력의 휴대용 디스플레이는 LCD가 그 주류를 이루고 있는데 유기 ELD의 경우 휴대용 디스플레이의 제품으로 적절한 것으로 알려져 있다. 현재의 유기 ELD 소자의 소비전력은 반사형 LCD의 수mW보다는 높고 투과형 LCD의 소비전력 수백mW의 중간 정도이다. 그리고 유기 ELD 소자의 경우 Red, Green, Blue 재료 특성이 최근 매우 좋아지면서 색순도가 LCD대비 매우 우수한 특징을 갖고 있다. 유기 ELD의 특성을 LCD와 비교시 큰 차이점들 중에 하나는 LCD는 구동 전압에 따라 그 휘도가 조절가능한데 비하여 유기 ELD는 전류량으로 조절해야 한다. 따라서 보다 효율적인 구동을 위해서 전류 구동형 전용 IC가 유기 ELD에서는 필요한 것이 하나의 또 다른 특징이다.

구동방법에 따른 유기 ELD의 구조

앞에서 언급한 유기 ELD 소자의 기본 구조를 이용하여 단순 발광 형태가 아닌 실제 디스플레이 소자를 제작할 때는 구동방법에 맞

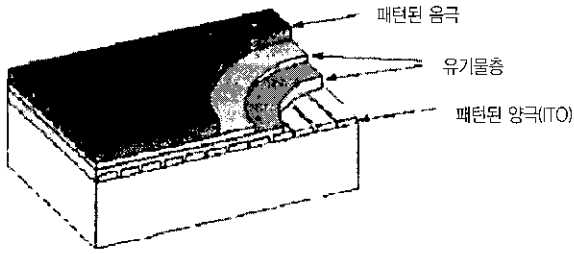


그림 3 수동(PM) 구동형 유기 ELD의 구조

추어 단순소자를 복수개로 한 화면에 나타내어야 한다. 구동방법에 따른 유기 ELD의 종류는 크게 Passive Matrix (PM)와 Active Matrix (AM) Display 두 종류로 나눌 수 있다. PM Display의 구조는 그림 3에서 나타낸 것과 같이 양극과 음극을 각각 직교하도록 배치시켜 구동하는 방식으로 서로 직교하는 화소에 전류가 흐르면 발광을 하게 된다. 이 방식의 화소 밝기조절(Gray 조절)은 시간 분할 구동을 하게 되며 한쪽 전극은 항상 스캐닝을 하게 되며, 이때 커지는 한 전극 Line에 맞추어 반대쪽 전극에서 화상정보를 넣어주게 된다. 따라서 이 방식의 구동은 스캐닝하는 숫자의 역수만큼 밝기가 감소하기 때문에 순간적인 높은 휘도를 발생시켜 구동하게 된다.

AM 유기 ELD는 TFT(Thin-Film Transistor)-LCD와 근본적인 원리는 유사하나 몇 가지 점에서 LCD와 다른 구조를 갖고 있다. LCD의 경우 전압조절이 가능하고 제작이 상대적으로 용이한 a-Si TFT를 흔히 사용하나 유기 ELD에서는 a-Si TFT의 전자 Mo-bility가 너무낮아 poly-Si TFT를 기본적으로 사용하여야 하며, 또 한 화소 내에 전류량을

정밀하게 조절가능하도록 TFT를 최소 두 개 이상 배치하여야 한다. 그림 4는 초기에 적용한 두 개의 TFT와 한 개의 Capacitor를 사용한 유기 ELD의 화소 회로설계도와 ELD의 단면구조를 나타낸 것이다.

저분자 유기 ELD의 컬러화 기술개발 현황

유기 ELD의 기술개발 중 최근 까지도 가장 어려운 기술분야 중에 하나가 Full Color화 공정기술이다. 저분자형 유기 ELD의 경우 크게 세 가지 방식의 컬러화 기술이 개발되어 왔다. 현재까지 많은 업체에서 가장 심혈을 기울여 개발하고 있는 기술은 Red, Green, Blue를 화소 형태로 독립적으로 증착하는 독립증착 방식이다(그림 5 참조). Kodak과 Sanyo 공동개발, 일본 Pioneer 사, Samsung-NEC, LG 사 등이 독립증착 방식을 이용한 개발 결과들을 보고하고 있다. 이 방식은 Red, Green, Blue를 독립적으로 증착하기 때문에 각각의 컬러를 형성시 Shadow Mask을

정밀하게 조

각각 사용해야 하는 번거로움과 기관과 Mask을 Align시 기계적인 Align의 어려움 등의 단점이 있다. 현재의 최고 Alignment 정밀도는 200×200 mm 정도의 기관 크기에서 약 (2.5 μm 정도로 알려져 있으며, 대형기관에 대한 정밀도는 계속적으로 개발이 되고 있다. 이 방식은 Red, Green, Blue재료를 독립적으로 사용하기 때문에 재료의 광효율 및 색순도를 100% 그대로 사용이 가능한 장점이 있다.

현재 개발 중에 있는 독립증착 방식의 Alignment 기술을 좀더 상세히 설명하면, 증착기 내부에 Mask가 용접된 Mask Frame과 기관 Glass는 각각 Frame Holder와 Glass Holder에 의해 Pin-align방법으로 장착이 되며, 이때의 Alignment 공차는 약 200 μm 이내이다. Pre-align된 Mask와 기관은 CCD로 다시 정밀 Alignment을 하며 이때의 Alignment 공차는 업체마다 차이가 있지만 약 ±5~±2.5 μm 정도이다. CCD Alignment 후

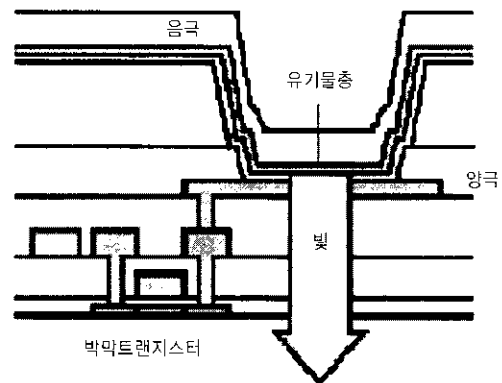


그림 4 능동(AM) 유기 ELD 소자의 단면구조

Mask와 기판이 영구자석에 의해 밀착되며, 이 상태로 회전을 한다. Alignment 공정이 완료되면 Main Shutter가 열리면서 증발원으로부터 유기물이 증발되어 기판에 증착이 시작되며, 증착이 완료되면 Main Shutter가 닫히고 회전이 멈춘 후, 영구자석이 분리되고 기판이 Glass Holder에 의해 Mask로부터 분리되어 증착실을 빠져나간다. Mask는 증착실에 계속 장착되어 있는 상태로 새 기판 Glass가 증착실에 투입되어 위의 증착공정을 반복한다. 이 방식의 기술이 최근에는 생산성 향상 및 화면 대형화를 위하여 기판과 Mask의 사이즈가 커지고 있는 추세이며, 기판이 대형화되면서 중력 처짐 문제 등이 발생하여 Alignment를 어렵게 한다. 또한 대형 Mask는 제작시 패턴의 위치 오차가 커지고, 중력 처짐 외에도 주름 등의 문제가 발생하여 인장상태에서 Mask를 Mask Frame에 장착하여(Tension Mask) 해결을 시도하고 있다. 이때 인장력은 Mask의 평면변형을 유발시키기 때문에 평면변형을 보상할 수 있어야 하며, 그 외에 대형 기판에서는 증착막 두께의

Uniformity 문제도 커진다. 그림 6은 독립증착 방식의 Alignment 방식을 개략적으로 표현한 것이다.

저분자형 유기 ELD의 Full Color화 기술중에 독립증착기술 외에 알려진 기술로는 CCM (Color Converting Medium) 방식과 White 발광체를 이용한 컬러필터 방식이 있다. CCM 방식은 일본의 Idemitsu-Kosan 사에서 개발한 기술로 Blue 재료를 발광물질로 사용하고 Green과 Red 빛은 유기 EL층 앞쪽에 형광필터를 사용하여 단파장의 빛을 장파장쪽으로 전이시켜 얻는 방식이다. 컬러필터 방식은 일본의 TDK사에서 개발하고 있는 기술로 White 재료를 발광물질로 사용하고 Red, Green, Blue는 컬러필터를 사용하여 얻는 기술이다. 이 기술들의 장점은 한재료를 Alignment없이 증착하고 컬러화를 타재료를 사진식각기술로 형성사용하기 때문에 생산성이 높고 alignment 문제점이 없는 장점이 있으나, 재료의 광효율이 50~30%로 낮고 색순도가 변경되는 단점이 있다.

자 대비 아직 상대적으로 기술개발이 덜 이루어진 상황이다. 저분자 기술은 증착기술로 대형기판(550×650 mm 이상)에 접목시 앞서 언급한 기계적인 Alignment의 문제점들이 쉽게 해결이 어려울 것으로 판단되고 또 생산성 및 품질관리가 매우 어려운 단점이 있다고 판단되어지고 있다. 고분자의 경우는 유기물을 형성시 공기중에서 공정이 가능하고 Mask 공정이 불필요하여 대형기판에 접목이 용이하여 여러 업체에서 개발을 하고 있다. 현재 개발중인 컬러화 기술은 Ink-Jet 프린팅 기술과 레이저 Thermal 프린팅 기술이 알려져 있다.

Ink-Jet 프린팅 기술은 발광성 고분자를 유기 용매에 녹인후 Ink-Jet Head에 장착하여 프린팅하며 기판과 Head를 CCD로 Align하여 사용한다. 이 기술의 장점은 Alignment 방식이 기판과 Head를 CCD로 Align하기 때문에 그 정확도가 (3µm 이내)가 가능한 것과 또 공정을 Monitoring할 수 있다는 것이다(그림 7 참조). 하지만 단점으로는 유기용매를 Head에 맞추어 Formulation해야 하기 때문에 유기 ELD 효율이 낮고 많은 수의 Head를 필요로 하기 때문에 Nozzle 막힘 등의 문제점이 있어 향후에 개발이 이루어져야 상용화가 가능하다고 알려져 있다. 레이저 Thermal 프린팅 기술은 전사 필름에 광열변환층 및 발광성 고분자를 필름에 형성하고 레이저로 스캐닝하면 레이저 에너지

고분자 유기 ELD의 컬러화 기술개발 현황

고분자 유기 ELD의 컬러화 기술의 개발이 저분

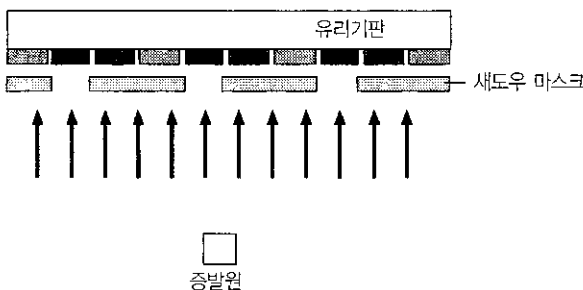


그림 5 저분자형 유기 ELD의 컬러화 기술 방식

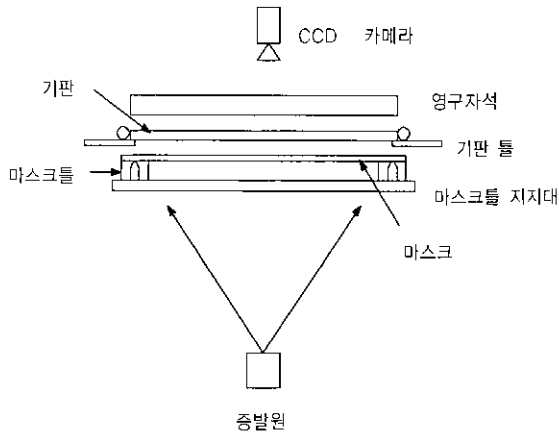


그림 6 독립증착 방식의 Alignment 방법

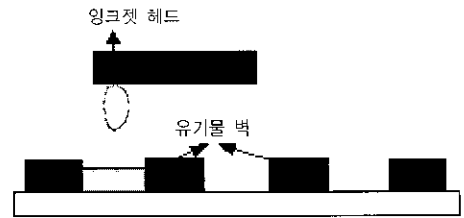
가 순간적으로 열에너지로 변경된 후 열에 의해서 발광성 고분자가 기판쪽으로 전이하면서 프린팅하는 방식이다(그림 7 참조). 이 기술의 장점은 Alignment 및 레이저 스캐닝을 모두 광학적으로 가능하기 때문에 Alignment 정밀도가 매우 높고 큰 기판에 적용이 용이한 점 등이 있으나 단점으로는 유기용매를 필름 코팅이 가능하도록 Formulation 해야 하기 때문에 유기 ELD 효율이 낮아지는 문제점 등이 발생하는 것으로 알려져 있어 향후에 개발이 이루어져야 상용화가 가능하다고 판단된다.

유기 ELD의 세계적 기술개발 현황

최근 들어 저분자 유기 ELD의 독립증착 기술을 여러 개발업체들이 경쟁적으로 개발하면서 Full Color 유기 ELD의 개발이 매우 활발히 보고되고 있다. Full Color Device을 보고하고 있는 업체로는 PM 방식은 Pioneer, Samsung-NEC, LG 등이 있으

며, AM방식은 Kodak-Sanyo, Sony, Samsung SDI 등이 있다. AM 방식의 경우 현재까지 두 개의 Transistor를 사용한 경우가 일반적으로 보고되고 있는데 Sanyo의 경우 5.5 인치 QVGA 해상도급을 2000년 5월에 보고 하였으며, Samsung SDI도 아직 공식적인 보고는 하지 않았지만 3.6 인치 QVGA를 개발한 상태이다. 아래의 그림은 최근 까지 개발된 업체별 Full Color Device의 Sample 사진이다. (그림 8 참조) 특히 2001년도 들어서는 여러 업체에서 AM 유기 ELD 개발을 활발히 보고하고 있

는데, 지난 2월에 Sony가 13 인치 Full Color AM ELD를 개발하였다고 공식 발표하였는데 기술적인 관점에서 여러가지로 큰 진전을 이루어 관심을 받고 있다. Sony의 13 인치 유기 ELD의 경우 유기 ELD가 향후 중형 TV나 컴퓨터용 모니터(Monitor)에 진입이 가능한 크기의 디스플레이라는 점에서 데 큰 의의가 있으며, 특히 업계 최초로 TV가 가능함을 보고하였다. 그리고 Sony가 이번에 적용한 AM 기술은 업계 최초로 화소구동시 네 개의 Transistor를 사용하여 완전 전류구동형을 채택한 것과 발광의 방향이 일반적인 기판쪽이 아닌 상판쪽으로 발광을 실현시켜 많은 TFT에 따른 발광영역 감소를 극복할 수 있는 기술로 평가되고 있다.



(a) 잉크 젯 프린팅 컬러화 방식

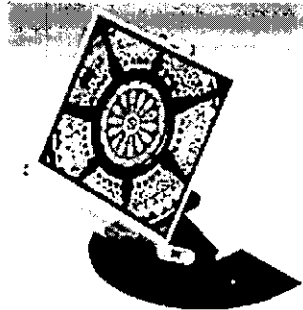


(b) 레이저 열 프린팅 컬러화 방식

그림 7 고분자 유기 ELD의 컬러화 기술



Sony 13.0 AM 유기 ELD
(SVGA, 4 Transistors)



Sanyo 5.5 AM 유기 ELD
(QVGA, 2 Transistors)



Samsung SDI 3.6인치 AM 유기 ELD
(QVGA, 2 Transistors)

그림 8 발표된 업체별 AM 유기 ELD 샘플

한편 고분자 유기 ELD의 기술 개발 현황은 저분자의 급속한 기술개발 속도에 비하여 다소 느리게 진행이 되고 있으며, 최근까지 주로 Mono 및 Multi Color PM 디스플레이를 개발한 보고가 많다. 미국의 Uniix, 유럽의 Philips, Samsung SDI 등이 PM 방식의 Mono 및 Multi Color의 개발을 보고하였고, AM 방식으로는 2000년 6월 CDT-Seiko Epson이 Ink-Jet 기술을 이용한 2.5 인치 Full Color Display를 세계 최초로 발표하였다.

유기 ELD의 기술개발 방향 및 향후 과제

유기 ELD의 기술개발 속도는 최근 들어 매우 급속도로 진행이 되고 있다. 불과 몇 년 전만해도 재료의 수명 문제나 컬러화 문제, AM 방식의 구동문제 등이 매우 어려운 난제들로 알려졌으나, 최근 몇 년 사이의 Full Color화 기술이 여러 업체에서 개발되어 보고되었고, 재료의 수명도 비약적인 발전을 하고 있다. 또 AM 기

술도 poly-Si TFT 업체들이 속속 참여하면서 그 개발속도가 매우 빠르다. PM 방식의 경우는 이미 일본의 Pioneer, TDK, 그리고 Samsung-NEC, LG 등이 사업화에 참여하였거나 참여를 발표하였으며, Mobile 및 차재용 디스플레이를 그 응용분야로 하고 있다. AM의 경우는 향후 2~3년 내에 여러 업체들이 사업화에 참여하리라고 예측이 되고 있는 상황이다. 최근의 빠른 기술개발 속도를 예측해 볼 때 향후 2~3년 내에 사업화에 큰 문제가 없으리라고 판단이 되나 몇 가지 점에서 아직 기술적으로 해결해야 될 문제점들이 있다. 첫째로 재료 및 Display Device의 수명향상의 문제를 들 수 있겠다. 앞에서 언급한 것처럼 AM에서 전면발광 연구가 활발히 진행되고 있으나, 소자의 안정성을 향상시킬 수 있는 봉지기술이 꼭 개발되어야 하며, 재료의 수명도 지속적으로 개선되어야 TV나 모니터 시장에 진입이 가능하겠다. 둘째로는 아직도 기술개발중인 컬러화 기술의 성숙화이다. 대형기관화, 고해

상도화가 필히 이루어져야 원가적인 문제나 품질적인 문제를 극복하고 상업화가 가능하리라 판단된다. 셋째로는 전류 구동형 TFT의 기술개발을 들 수 있겠다. 여러 업체에서 Full Color가 가능한 AM 기술을 개발하고 있으나, 제작이 용이하고 Gray Control이 매우 우수한 TFT기술의 조기 개발이 이루어져야 사업화가 가능하리라 판단된다. 마지막으로 부품 및 양산 설비기술의 성숙화이다. 주변 산업 기술의 발달이 동시에 이루어져야 만이 원만한 부품의 조달과 양산설비의 구매가 가능해지기 때문에 주변 기술의 공통된 발달이 사업화의 필수 불가결의 조건이다. 최근의 기술개발 속도 및 주변 산업의 적극적인 참여 등으로 미루어 볼 때 유기 ELD의 전망은 매우 밝다고 볼 수 있으며, 2~3년 내에 큰 기술적 진전을 기대해 볼만하다고 판단된다. 향후 몇 년 안에 우리 주변에 매우 흔한 디스플레이로 유기 ELD가 실생활에 다가올 것으로 예측이 된다.