유기전자 기반의
플렉서블 디스플레이 기술개발 현황

종이처럼 접거나 휘어지거나 두루마리처럼 말을 수 있는 이른바 '플렉서블 디스플레이(Flexible Display)'에 대한 필요성이 점점 대두되고 있어 각 국가별, 기업별로 플렉서블 디스플레이 관련 연구개발 경쟁이 치열하게 전개되고 있다. 이처럼 향후 디스플레이 발전에 있어서 매우 중요한 유기전자(Organic Electronic) 기반의 플렉서블 디스플레이에 대해 살펴보도록 하자.

글 : 홍문표 부교수 / 고려대학교 디스플레이반도체물리학과
goodmoon@korea.ac.kr / www.korea.ac.kr

지난 60년 동안 디스플레이 시장 전반을 장악해왔던 CRT 디스플레이는 불과 10년도 채 안되어서 LCD와 PDP 등 평판 디스플레이(FPD: Flat Panel Display) 에게 점점 더 그 자리를 빼앗겨가고 있다. 모니터, 노트북, TV, 휴대용 기기 및 생활용품까지도 FPD가 응용이 되어 이제는 FPD가 없는 세상은 상상할 수 없을 정도이다.

또한, 급속도로 발전해 가는 정보화 기술로 인하여 언제 어디서나 쉽게 정보를 얻을 수 있는 유비쿼터스 시대로 접근하고 있는 지금, 휴대가 간편하고 이동성을 가진 휴대용 기기가 인기를 끌고 있다. 이에 따라 더 얇고 더 가벼우며 휴대하기 쉬운 경박·단소한 디스플레이가 휴대용 기기의 기본적인 요구사항이 되고 있고, 더 나아가 유비쿼터스 시대를 실현하는 정보기기로서 디자인 변형이 자유로우며, 떨어뜨려도 깨지지 않고 유연하면서도 질긴 특성을 바탕으로, 때론 플렉서블 디스플레이를 소개함에 앞서 우리는 그 정의를 명확히 할 필요가 있다. 플렉서블 디스플레이를 이해할 때 기능적인 특성을 바탕으로 다양한 개념으로 받아들여지고 있다. 즉, 혹자는 두루마리 형태로 말 수 있는(Rollable) 디스플레이로, 혹자는 종이처럼 접거나 구부릴 수 있으며(Curved, Bendable) 외곽 디자인이 자유로운 디스플레이로, 또는 기판이 유연성(Flexibility)을 갖고 있어서 깨지지 않는 튼튼한 디스플레이로, 혹자는 플라스틱처럼 얇고 가벼운 기판을 사용하여 가볍고 얇은(Thin & Light) 디스플레이로 이해하기도 한다. 이러한 특성으로 인하여 현재의 모바일 디스플레이를 대체할 수 있는 디스플레이로 고려되기도 하며, 종이를 대체할 수 있는 e-Paper 개념의 디스플레이로 고려되기도 한다.

이와 같이, 다양한 의미를 포괄하고 있는 플렉서블 디스플레이에 대한 정의는 이 기술이 적용된 제품을 사용하고자 하는 사용자와 향후 이 기술을 사용하여 제품을 생산하고자 하는 생산자, 현재 이 기술을 개발하는 개발자들이 각각 조금씩 다른 의미로 사용하여 논의과정에서 혼선이 유발되고 있다.

본 보고서에서는 플렉서블 디스플레이에 대한 정의를 하드웨어적인 관점에서 가장 기본이 되고 포괄적인 의미로 정의하고, 현재 유기 소자(Organic Device) 위주로 논의되고 개발되고 있는 다양한 개념을 수용하되 기술개발에 따라 그 개념과 기술개발현황을 살펴보도록 하자.

탄산가스를 많이 함유한 맥주는 초기에는 보관상의 기술적 한계로 유리병 형태로만 판매되었으나, 현대에 이르러 보관성과 이동성에 대한 소비자의 욕구를 충족하기 위하여 캔맥주나 PET병 형태로도 판매되고 있다. 그러나 중요한 것은 보관 용기에 관계없이 맥주라는 내용물은 변함이 없고, 맥주의 맛과 향기라는 품질은 차이가 있어서는 안 된다는 것이다.

플렉서블 디스플레이도 맥주와 마찬가지로 기본적인 출발은 유리기판을 기반으로 하는 디스플레이 소자 기술이 금속호일이나 플라스틱 필름과 같은 유연한 기판을 기반으로 하는 디스플레이 소자 기술로 변화한 것이다. 즉 하드웨어 기술의 변화를 의미하며 그 내용물인 디스플레이의 품질인 화질은 기존 유기기판 기반의 디스플레이와 동일하거나 또는

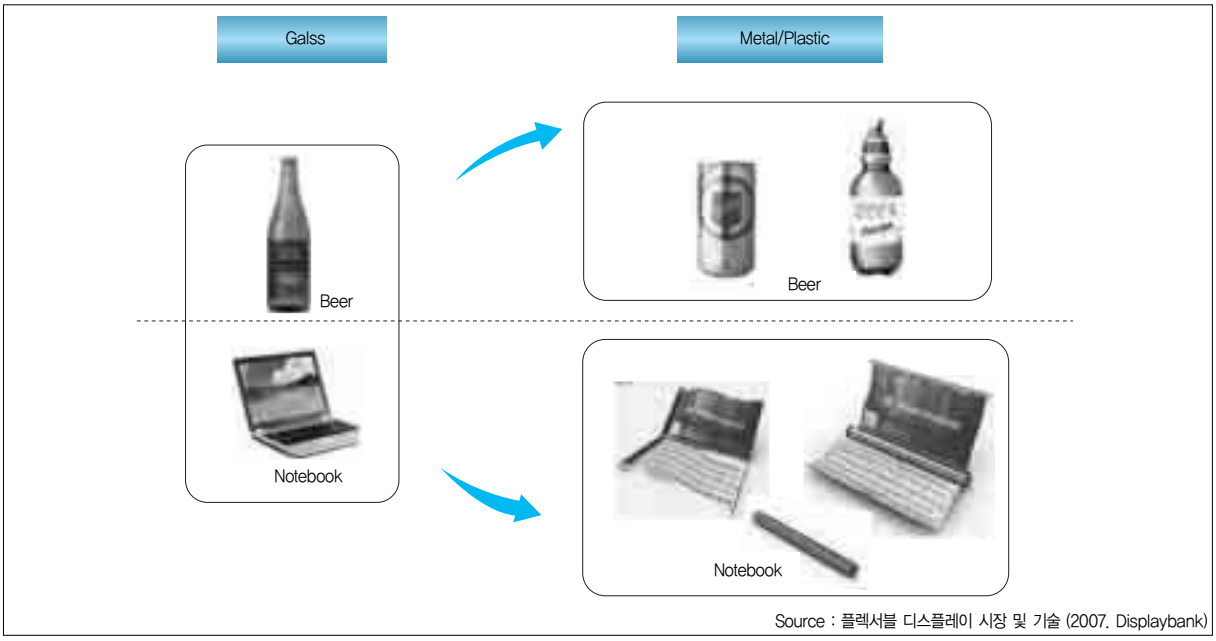


그림 1. 플렉서블 디스플레이의 기초정의

향상된 수준을 전제로 하여야 한다.

기판이 단단한 유리에서 유연한 소재로 변경되는 것을 플렉서블 디스플레이의 1차적인 정의라고 할 때, 플렉서블 디스플레이 기술의 발달과 사용자의 용도에 따라 아래 그림과 같이 4가지 형태 또는 단계로 구분 지을 수 있다.

1) Durable: 얇고 가볍고(Thin & Light) 깨지지 않고 질긴 디스플레이

- 플렉서블 디스플레이의 가장 초기 형태 (1세대 플렉서블 디스플레이)
- 기판만 유리에서 유연한 소재로 바뀐 형태로 기존 휴대용 제품의 견고한 외곽은 그대로 사용하나 제품의 두께, 무게, 신뢰성을 혁신적으로 향상

2) Bendable & Conformable: 휘어지고, 외형 디자인이 자유로운 디스플레이

- 자유로운 디자인 요소(Form Factor)가 핵심 (2세대 플렉서블 디스플레이)
- 휘어진 형태를 지속적으로 유지하고, 디스플레이 외곽 디자인을 자유롭게 하여 패션 개념이 가미된 새로운 휴대용 제품 창출
- 굴곡진 공간이나, 자투리 공간을 최대한 활용한 새로운 설치 제품 창출

3) Flexible: 두루마리처럼 자유롭게 말 수 있는 디스플레이

- 자유롭게 접고, 말을 수 있는 디스플레이 (3세대 플렉서블 디스플레이)
- 극단적인 공간절약형 신개념 제품의 창출

4) Disposable: 종이를 대체할 수 있는 극 저원가 디스플레이

- 종이에 근접된 제조원가가 핵심 (4세대 플렉서블 디스플레이)
- Roll to Roll 기술, Easy Printing 기술 등과 같은 극 저원가 기술을 기반으로 쉽게 사고, 임의로 폐기 할 수 있는 디스플레이
- 일반 종이 프린트물을 대체하는 신규 제품 창출

플렉서블 디스플레이 애플리케이션

플렉서블 디스플레이의 향후 응용분야를 살펴보면, 앞서

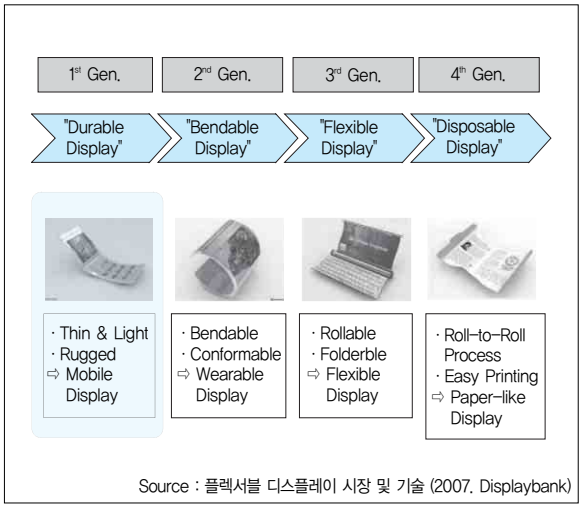


그림 2. 플렉서블 디스플레이의 발전단계

기술한 가볍고 얇고 깨지지 않는다는 장점으로 인하여 휴대폰, PDA, MP3 플레이어와 같은 중소형 디스플레이가 채용된 모바일 제품에 우선적으로 적용될 것으로 기대되며, 플렉서블 디스플레이의 대면적화 기술이 확보되면 기존 디스플레이가 적용된 노트북, 모니터, TV 등의 모든 분야에 대체 적용 가능하여, IT산업 전반에 걸쳐 크게 확산 될 수 있을 것이다. 이뿐 아니라, 기존의 유리기판 기반의 디스플레이로는 적용이 제한적이거나 불가능 했던 새로운 영역의 창출이 가능하다. 예를 들어, 신문이나 잡지, 교과서, 서적, 만화와 같은 출판물을 대체할 수 있는 e-Book 분야와 디스플레이를 접거나 말아서 가지고 다닐 수 있어 휴대성이 탁월한 초소형 PC, 실시간 정보 확인이 가능한 스마트카드 등 새로운 휴대용 IT제품 분야가 새로운 시장으로 떠오를 것이다. 이외에도 유연한 플라스틱 기판을 사용하여 질기고 구부림이 자유로워 여러 디자인을 표현할 수 있어 입고 다닐 수 있는 의류용 패션, 의료용 진단 분야 까지도 확대되어 적용될 수 있다. 또한 Roll-to-Roll 공정을 기반으로 한 대면적, 저원가 기술이 실현되면 실내외 광고용 간판 및 각종 장식용 용도로 새로운 수요를 창출 할 수 있을 것이다.

플렉서블 디스플레이로 응용 가능한 애플리케이션을 좀더 체계적으로 살펴보면, 응용제품의 성격에 따라 크게 3가지로 나누어 생각할 수 있다.

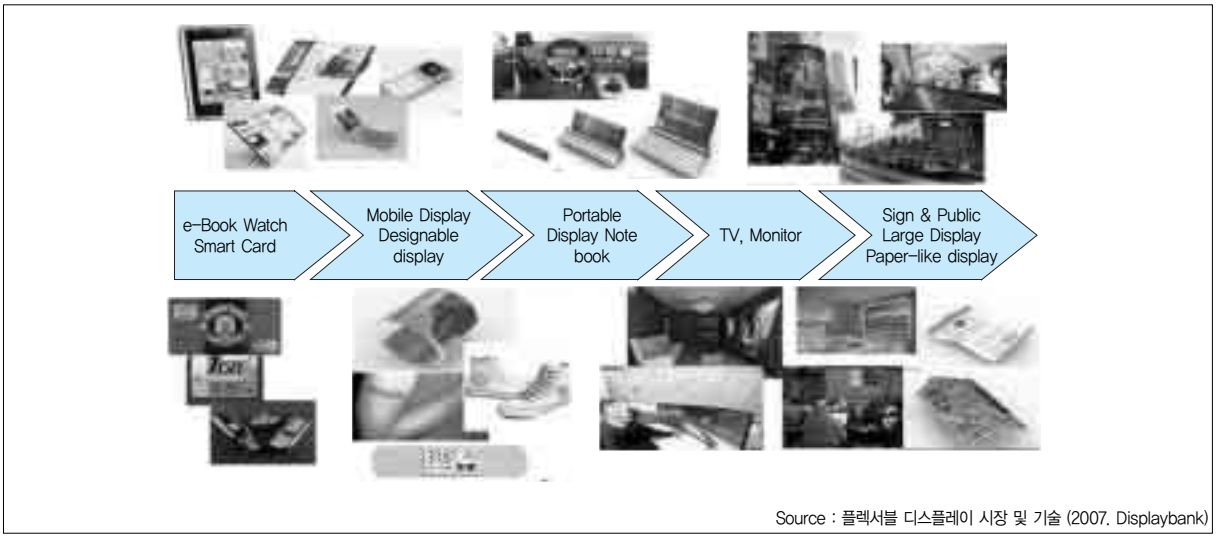
1) 편리성과 내구성이 강조되는 휴대용 기기
2) 공간의 효율적 활용을 위한 거치용 기기
3) 대면적, 저가격이 핵심인 광고 및 장식용 기기

가장 먼저 플렉서블 디스플레이 기술이 적용될 수 있는 제품영역 중 하나로 기대되는 휴대폰의 경우 우선적으로 유리 LCD를 채용한 휴대폰에서 LCD 보호용 플라스틱 창을 제거할 수 있고 휴대폰 자체를 혁신적으로 가볍고 얇게 설계할 수 있으며, 필요한 경우 휴대폰의 외곽 전체를 고무와 같은 연성의 재료로 설계하여 외력에 의한 변형에 내성이 크고 잘 부셔지지 않는 기기를 개발 할 수 있다. 또한 디스플레이 기능을 극대화한 폰 전체가 디스플레이인 접이식 전화기도 구현 가능하다.

또한 일반 통신기기와는 다르게 저장된 정보를 읽고 때로는 쓰는 기능이 위주인 e-Book의 경우 일부 유리기판 기반의 디스플레이를 이용한 초기 제품이 출시되어 있지만 아직 시장이 활성화 되지 못한 신규 시장이다. 휴대성을 생명으로 하는 e-Book 제품의 특성상 내구성이 강한 플렉서블 디스플레이가 채용될 경우 시장이 빠르게 성장 할 것으로 기대된다. 플렉서블 기반의 e-Paper 기술이 적용된 e-Book의 경우 가볍고 얇은 특징 외에도 일반 책과 같이 접거나 말아서 휴대할 수 있고, 소비전력이 매우 적어 종이 출판물을 대체할 수 있다. 또한, e-Book기기가 좀 더 대형화되고 저가격화되면 기존의 일간신문처럼 쉽게 사고 쉽게 버리는 Disposable e-Newspaper도 상용화 될 수 있다.

한편, 휴대용 기기영역 이외에도 새로운 시장을 창출 할 수 있는 영역으로 광고용 디스플레이를 들 수 있다. 플렉서블 디스플레이의 Roll-to-Roll 생산 공정이 가능하게 되고 대면적의 디스플레이를 쉽게 프린팅하게 된다면 저가격으로 디스플레이 생산이 가능하게 되어 광고용, 정보 전달용 디스플레이에 플렉서블 디스플레이가 응용 가능하다.

광고용 및 정보 전달용 디스플레이 관련 시장은 현재에도 많은 성장을 하고 있으며, 기차역이나 공항에서 출발시간 및 도착시간을 알리는 것뿐 아니라 제품을 홍보하는 광고판에도 플렉서블 디스플레이가 채용 될 수 있다.



Source : 플렉서블 디스플레이 시장 및 기술 (2007, Displaybank)

그림 3. 플렉서블 디스플레이 애플리케이션별 발전 전망

플렉서블 디스플레이 기술

플렉서블 디스플레이는 앞서 정의한대로 유연한 기판을 기반으로 하는 '디스플레이 소자 기술'이나 그 내용물인 디스플레이의 품질이 현재의 유리기판 기반의 디스플레이 대비 동일 또는 그 이상의 수준을 유지하는 것으로 정의하였다.

따라서 기술적으로는 플렉서블한 형태로 쉽게 접근이 가능한 수동형 구동(Passive Matrix) 방식의 디스플레이 기술은 우리의 관심영역에서 제외한다.

플렉서블 디스플레이는 유연한 기판에 구동 소자 어레이(Array)를 형성하고 필요한 디스플레이 모드기술을 적용한 형태를 기본적인 구조로 구동 기술 및 적용 애플리케이션에 따라서 여러 가지 형태로 나눌 수 있다. 플렉서블 디스플레이와 관련된 기본기술은 크게 기판 기술, 구동소자 기술, 디스플레이 모드기술 3가지 영역에 한정하고자 한다.

현재 플렉서블 디스플레이 구현을 위해 매우 다양한 기판기술, 구동소자 기술, 디스플레이 모드 기술이 개발되고 그 결과물이 발표되고 있지만, 기술의 완성도와 향후 생산 시장성 등을 고려하여 각 영역별로 대표적인 3가지 기술을 선정하여 분석 할 수 있다.

- 기판 기술(Substrate): Plastic Film, Metal Foil, Thin Glass.
- 구동소자 기술(TFT Array): a-Si TFT, Poly-Si TFT, Organic TFT
- 디스플레이 모드 기술(Display Mode): LCD, OLED, e-Paper

플렉서블 디스플레이의 정의에서 알 수 있듯이 유연한 기판기술은 플렉서블 디스플레이의 원초적인 출발점이다. 즉, 현재의 유리기판 기반의 디스플레이에서 기판만 유연한 플라스틱 기판이나 금속호일로 교체하면 1차적 의미의 플렉서블 디스플레이가 실현된다. 예를 들어 TFT-LCD를 플라스틱 기판으로 만들면 플렉서블 TFT-LCD가 되는 것이다. 매우 단순한 이야기지만 바위 위에 저택을 짓는 것과 물위에 수상가옥을 짓는 것만큼이나 기술적으로는 전혀 다른 이야기가 된다. 특히, 반도체 기술 기반의 능동형 구동(Active Matrix) 소자를 유연한 기판 위에 미크론 단위의 범위에서 정밀하게 형성하려면, 습기와 산소에 대해 차단 기능이 필요하고, 온도가 가해져도 수축되거나 이완되지 않는 탁월한 성능의 기판이 개발 되거나, 현재의 유연한 기판의 물성한계 범위 내에서 구동소자를 쉽게 형성하는 새로운 구동소자 기

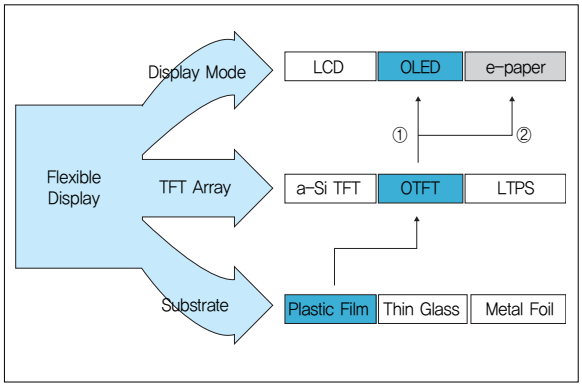


그림 4. 유기소자를 기반으로 한 플렉서블 디스플레이의 기술 개발 방향

술이 확보 되어야 하나 2가지 모두 쉽게 얻어질 수 있는 기술이 아니다. 즉, 플렉서블 디스플레이를 위한 기판기술과 능동형 구동소자 기술은 서로 직접적으로 연관되어 있으며, 현재 플렉서블 디스플레이를 현실화 하는데 가장 큰 장애물이고 많은 연구기관과 회사에서 집중적으로 연구자원을 투입하는 영역이다.

유연한 기판의 경우 0.1mm 이하의 매우 얇은 유리판과 금속박판, 플라스틱 필름이 주로 검토되고 있으며, 얇고 깨지지 않는 특성 때문에 금속박판이나 플라스틱 필름이 주로 연구되고 있으나, 아직 플렉서블 디스플레이를 구현하는데 필요한 성능을 충분히 만족하는 기판은 확보되지 않고 있다

능동형 구동소자의 경우 TFT-LCD나 AMOLED용 백플레인(Backplane)에서 주로 사용하는 비정질 실리콘 박막트랜지스터(a-Si TFT)와 저온 다결정 실리콘 박막트랜지스터(Low-Temperature Poly-Si) 기술이 1차적으로 개발되고 있으며, 최근 상대적으로 저온공정이 가능하고 용액공정이 용이한 유기 반도체를 이용한 유기 박막트랜지스터(OTFT; Organic Thin-Film Transistor) 기술이 미래의 플렉서블 디스플레이용 구동소자 기술로서 활발히 연구되고 있다. 그러나 디스플레이의 표시품질을 확보하는데 필요한 소자의 성능 및 신뢰성이 아직 부족한 상황이다.

플렉서블 디스플레이용 모드의 경우 원리적으로 현재의 능동형 구동소자를 기반하는 모든 디스플레이 모드를 사용할 수 있다. 기존 액정을 이용한 LCD의 경우 표시품질과 공정성 측면에서 양산성이 검증된 가장 안정된 기술이나 2장의 유연한 기판 사이에 형성된 액정셀의 간격을 일정하게 유지하는 기술이 반드시 확보 되어야 한다. 유기 발광물질을 이용한 OLED(Organic Light-Emitting Diode)의 경우 습기 및 산소의 침투에 취약한 플렉서블 기판을 사용해야 하는 관계로 보호막(Passivation) 및 봉지(Encapsulation) 기술의 혁신적인 개선이 필요하나 원리적으로는 LCD에 비해 플렉서블 디스플레이에 더 적합한 기술이다. 그리고 종이의 특성과 전자 디스플레이를 결합한 e-Paper 기술의 경우 반사형이면서 정보기억 기능을 가지고 있어 e-Book용 플렉서블 디스플레이에 가장 적합한 기술이나 표시품질이 아직 LCD나 OLED에 비해 현저히 떨어져 디스플레이 성능을 혁신적으로 개선해야 하는 문제를 가지고 있다.

5년 이상 장기적인 관점에서 보았을 때, 플렉서블 디스플레이의 가장 적합한 기술 개발 방향은 결국, 생산성과 가격 및 디스플레이의 성능에 달려있다.

그러므로 플렉서블 디스플레이의 중요 특성인 가볍고, 얇고, 유연함을 갖기 위해서는 범용 플라스틱 기판이 유리 할 것으로 판단되며, 구동소자는 상온 · 상압공정이 가능하고 프린팅 방법을 통해 대량 생산이 가능한 OTFT 소자가 가장 적합 할 것으로 예상된다. 디스플레이 모드의 경우 박형화에 유리하고 휘어져도 표시특성의차이가 적은 OLED 모드가 동화상과 자연색감이 요청되는 고급 제품용으로 사용 될 것으로 기대되며, 낮은 가격이 중요한 범용 제품에는 일부 동영상의 처리가 가능하고 색의 구현이 가능하도록 성능이 개선된 컬러 e-Paper가 채용 될 것으로 예상된다. 이 경우, 기판과 구동소자와 디스플레이 모드가 모두 유기물인 전유기 디스플레이(All Organic Display)가 구현되나 각각의 기술이 아직은 해결해야 할 문제가 많아 계속적인 기술개발 노력이 있어야 한다.

유기소자 관련 고려대학교 플라즈마 & 소자 연구실 연구 개발 현황

현재 본교 디스플레이반도체물리학과 플라즈마 & 소자 연

구실에서 수행 중인 유기소자를 기반으로 한 플렉서블 디스플레이 기술 연구 분야는 크게 3가지로 나뉘어 연구를 진행하고 있는데, 제 1연구는 OTFT 소자 및 공정에 대한 연구 분야가 있으며, 또 다른 연구는 OLED 소자 및 공정에 대한 연구 분야가 있다. 그리고 마지막으로 저온 플라즈마를 이용한 신공정 기술개발 및 플렉서블 소재개발에 대한 연구들을 활발히 진행하고 있다.

유기 TFT(OTFT) 관련 공정 기술을 연구하고 이를 이용하여 기존 TFT-LCD를 대체할 수 있는 차세대 OTFT 디스플레이 소자와 기타 유기소자의 개발에 대한 응용 연구를 수행하고 있다. OTFT는 유기 반도체를 활성화 층으로 하여 제작된 박막 트랜지스터이다. 이는 기존 실리콘 기반 트랜지스터가 가지는 한계를 넘어 플라스틱 또는 종이 기판을 이용하여 저온에서도 제작이 가능한 장점을 가지고 있으며, 잉크 제팅 등 상압 공정이 가능하기 때문에 디스플레이 소자의 원가를 낮출 수 있다. OTFT 표준소자 연구를 통해 펜타센(Pentacene) 저분자 유기반도체를 이용하여 기존 비정질 실리콘 박막 트랜지스터에 준하는 고성능 OTFT를 제작할 수 있는 공정을 확보하고 있다.

현재 산업자원부 주관으로 프런티어 사업을 삼성전자 및 고려대학교, 경희대학교와 함께 소스와 드레인 전극 증착공정 중 발생되는 유기 게이트 절연체(OGI)에 대한 플라즈마 데미지 메커니즘(Plasma Damage Mechanism)을 규명하기 위하여 S/D 전극의 금속 증착 방법 (Thermal Evaporation 대 Plasma Sputtering)에 따른 OGI의 데미지 및 OTFT 특성 저하 연구와 ITO 증착 조건 및 표면처리 조건에 따른 OTFT 소자의 특성 변화 연구를 진행하고 있다.

유기소자는 유기물의 특성상 수분과 산소에 의해 소자의 성능저하가 발생된다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 PVA와 저온 아크릴레이트 물질을 이용한 패시베이션 공정에 대한 연구를 함께 진행 중이며, 여러 가지 패시베이션 재료에 대한 평가를 하고 있다. 또한 스핀 코팅 공정으로 1차 패시베이션 레이어를 형성하고 중성입자 빔을 이용한 스퍼터링 공정으로 넓은 밴드 간격을 갖는 ITO 박막을 형성하여 OTFT소자를 패시베이션하는 공정에 대한 연구를 함께 진행 중이다.

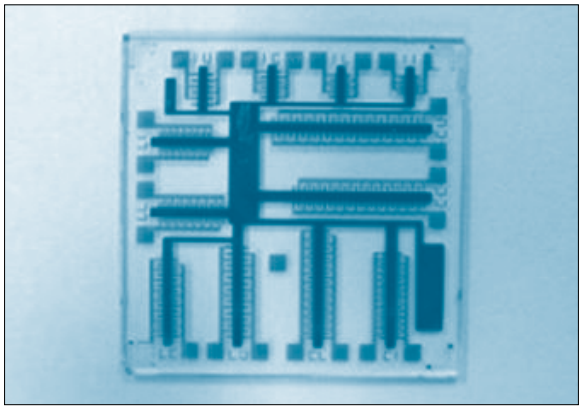


그림 5. OTFT 기본소자

현재 OTFT소자에 사용되는 대부분의 소스와 드레인은 증착의 용이성과 유기반도체(OSC) 물질과의 일 함수를 고려하여 Au(금)를 사용하고 있지만 금은 재료의 원가가 매우 비싸고 OGI와 유착이 좋지 않기 때문에 실제 양산에 적용하기에는 많은 제약이 따른다. 이에 OSC와 사용이 적합한 몇몇 금속을 종류별로 평가하고 있으며, 합금류의 신규 소스, 드레인 재료를 개발하는 실험도 활발히 진행 중에 있다. 이밖에 가용성 OTFT에 대한 연구도 진행하고 있는데, 가용성 OTFT의 제작 공정 확보와 재료의 평가를 위해 팁스 펜타센을 이용한 OTFT 소자를 평가하고 있다. OTFT는 실리콘 기반의 반도체 TFT와 비교하여 가용성 프로세스를 통한 TFT의 제작 원가의 절감이 가능하기 때문에 향후 디스플레이용 반도체 시장의 큰 부분을 차지하게 될 것이다.

또 다른 연구 분야로서 플라즈마 데미지 프리 전극 증착 공정을 이용한 OLED에 대하여 연구하고 있다. 플라즈마 데미지 프리 전극 증착 공정을 사용하면 유기 계층 위에 투명전극을 바로 증착하는 것이 가능하게 되며, 이에 따른 탑 에미션 OLED와 스태킹 구조의 OLED 소자를 효율저하 없이 제작하는 것이 가능하게 된다. 특히 OLED의 최적 구조 및 각 유기 계층의 특성 분석과 연계된 연구를 통하여 현재의 공정으로 사용하기 어려운 다양한 재료들의 OLED 소자에 대한 적합성 평가와 이를 기반으로 OLED의 캐리어 트랜스포트 향상 및 전체 소자의 효율을 향상 시킬 수 있는 새로운 캐리어 트

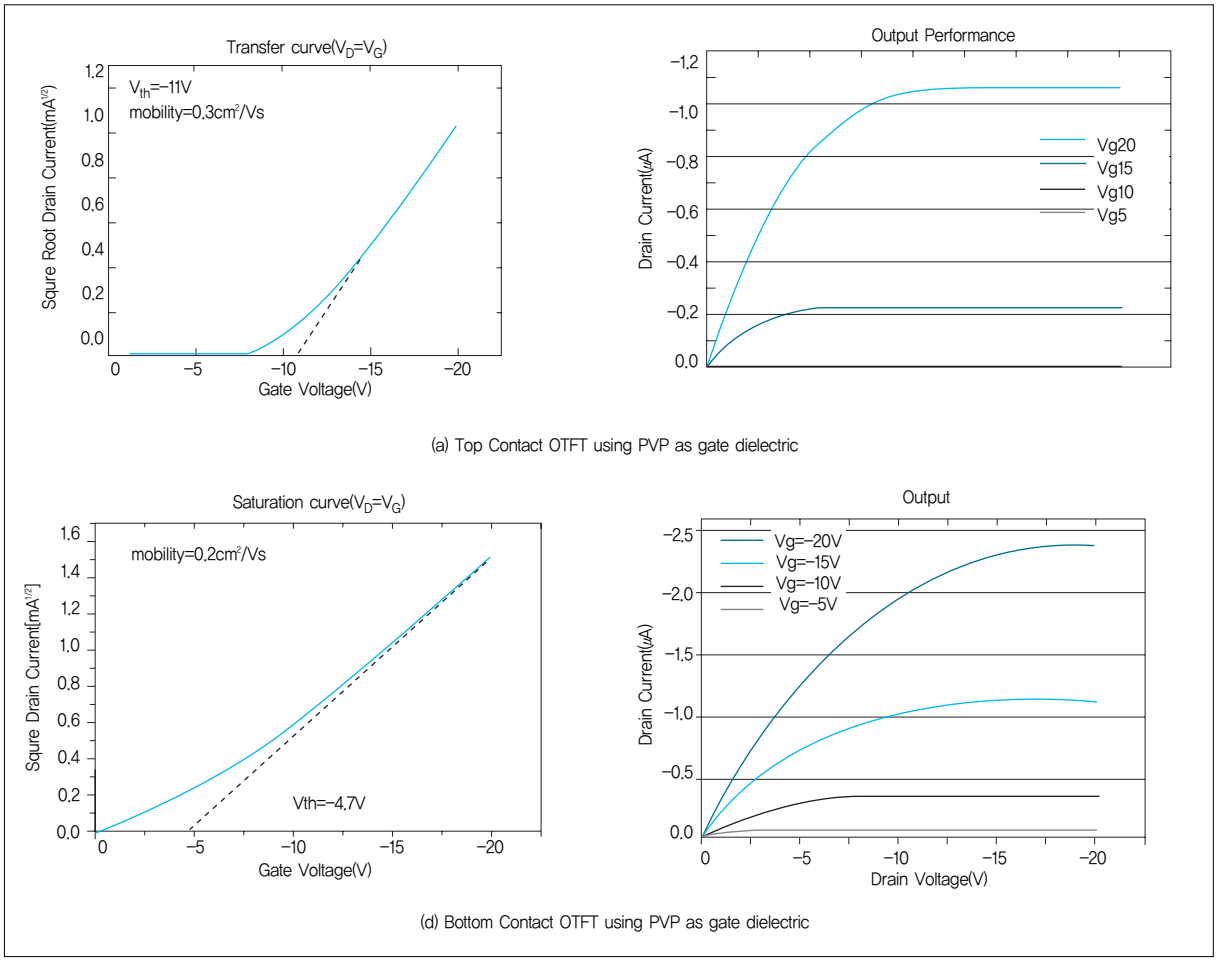


그림 6. OTFT 소자의 TFT 특성

랜스포트 레이어의 개발에 대한 연구도 병행하고 있다.

현재까지 OLED 소자는 플라즈마에 의한 유기 계층 손상으로 인해 유기 계층 위에 바로 투명전극을 증착하는 것이 불가능 했다. 이를 해결하기 위한 방법으로 유기 계층과 투명전극 사이에 불투명 버퍼 레이어를 증착하여 플라즈마 데미지로부터 유기 계층을 보호하는 구조의 소자에 대한 연구가 활발하게 이루어 졌으나, 필요치 않은 버퍼 레이어 증착으로 인해 소자 효율이 낮아지는 현상을 해결하지 못했다. 본 연구실에서 연구 중인 플라즈마 데미지 프리 전극 증착 장치는 하전 입자(Charged Particle)를 제거한 중성입자빔을 이용하여 유기 계층에 데미지를 주지 않고 바로 투명 전극을 증착하는 것이 가능하며, 이미 고려대학교 플라즈마&소자 연구실에서는 상기의 증착 공정을 이용하여 인버티드 바틈 에미션(Inverted Bottom Emission) 구조의 OLED 소자에서 유기 계층 위에 ITO 전극을 바로 증착하여 OLED소자를 발광시키는 성과를 거두었고, 현재 소자의 성능을 보다 향상시키기 위해 플라즈마 공정에서 발생하는 각 데미지 인자에 대한 치밀한 분석과 이를 이용한 공정의 안정화를 위한 연구를 진행하고 있다.

OLED 소자는 에미션 레이어(EML)에서 전자와 홀의 결합을 통해 발광하기 때문에 EML까지의 전자와 홀의 트랜스포트 메커니즘이 매우 중요하다. 최근의 OLED소자는 다양한 전자주입/트랜스포트 레이어와 정공 주입/트랜스포트 레이어를 사용함으로 소자의 효율을 매우 크게 향상 시켰으나 실

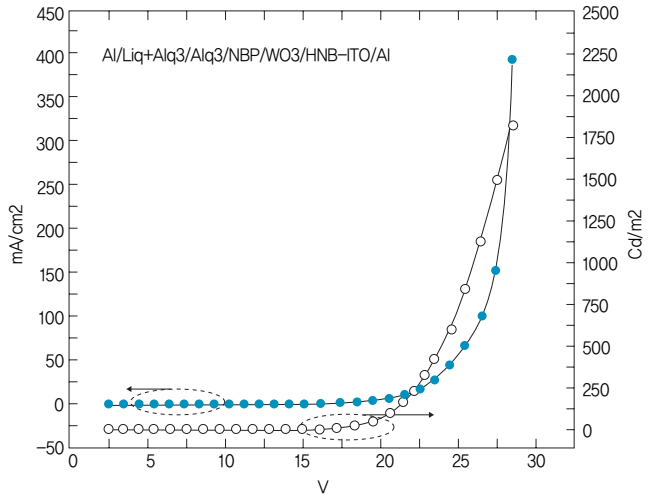


그림 7. 데미지 프리 증착 공정을 이용한 IBOLED 소자

제로 양산에 적용 가능한 재료는 아직까지 한정적이며, 또한 전극과 유기 계층 사이의 계면에서 발생하는 트랜스포트 메커니즘에 대한 정확한 규명도 부족한 면이 많다고 할 수 있다. 금속 전극과 유기 계층 사이의 트랜스포트 메커니즘에 대한 분석을 통해 양산에 접목가능하며, 보다 안정적으로 효율을 높일 수 있는 인젝션/트랜스포트 레이어에 대한 연구를 진행하고 있으며, 이를 위해 다양한 도핑 레이어에 대한 실험과 옥사이드 계열의 인젝션 레이어에 대한 실험들이 진행되고 있다. 특히 터널링 효과를 이용한 인젝션 레이어에 대한 연구를 통해 효율 향상 및 안정성 확보의 두 가지 조건을 만족시키는 OLED 소자 개발이 이뤄지고 있다.

마지막으로 플렉서블 디스플레이 구현이 가능하게 하기 위하여 연구되고 있는 것 중 투명전극 증착에 대한 원천 기술 연구와 중성입자빔(Hyper thermal Neutral Beam, HNB)을 이용한 전극 및 저온 실리콘 증착 공정 개발에 대하여 연구를 진행하고 있다. 투명전극 증착 원천 기술에 대한 연구는 기판의 온도를 가하지 않은 저온 공정조건에서 ITO 박막을 성장시키는 동안 다양한 조건을 가지고 조사되는 알곤, 산소 플라즈마가 박막의 전기적, 광학적 성질에 미치는 영향에 대하여 연구하며, 이를 통해 ITO 박막의 전기적, 광학적 특성 향상을 위한 인자를 도출하여 중성입자 빔을 이용한 투명전극 증착 공정 연구에 반영하고, 신 공정을 통해 증착 된 ITO 박막의 특성 평가에 표준 박막으로 사용할 수 있는 ITO 박막 제작을 목표로 하고 있다.

중성입자 빔을 이용한 증착 공정은 플라즈마에서 생성된 이온이 절연층(sheath)에 의해 가속되어 전도체에 충돌하면서 발생하는 Auger neutralization을 이용, 중성입자 빔을 발생시켜 박막을 증착하는 공정이다. 이를 사용하여 적절한 증착조건을 만족시켜주면 기판의 가열 없이도 고온에서 증착한 것과 동일한 ITO 및 Si 박막의 특성을 얻을 수 있으며, 또한 Charged Particle이 없는 중성자 빔의 특성으로 유기물층에 손상을 주지 않는 전극의 증착이 가능해진다.

현재까지 ITO박막에 대한 데미지 프리 증착 공정에 연구를 진행하여 소기의 성과를 확인하고 있으며, 공정 장비에 대한 안정성 확보 및 박막의 특성 향상을 위한 추가 실험이 진행되고 있다.

그리고 올해 중반기부터는 산업자원부 주관 지역혁신 인력양성사업과 충남도 기술혁신 사업의 지원을 받아 중성입자 빔 플라즈마 소스와 PECVD를 결합한 새로운 저온 실리콘 박막 증착 공정에 대한 연구가 진행 중이며, 이를 통해 PET와 같은 저가 플라스틱기판의 이용이 가능한 50℃ 비정질 실리콘 박막 증착 공정 및 장비기술을 개발 중에 있다.

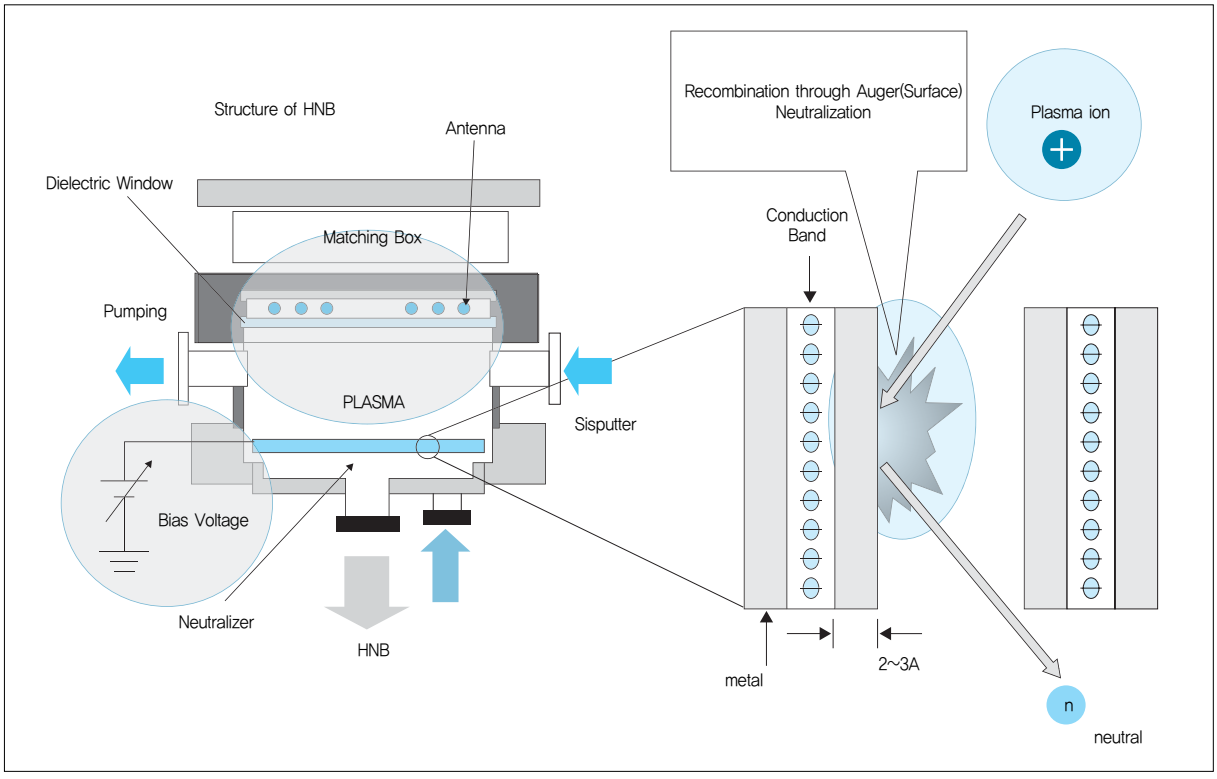


그림 8. 중성입자빔 생성 원리

유기 전자 기반의 플렉서블 디스플레이 기술 응용과 기대효과

평판디스플레이 산업이 CRT 디스플레이 산업을 대체해 나간 지 10년도 채 안되어서 평판디스플레이를 대체할 또 다른 차세대 디스플레이인 '플렉서블 디스플레이'가 거론되면서 또다시 디스플레이 산업의 기술 혁신을 예고하고 있다. 플렉서블 디스플레이의 가장 큰 경쟁력은 디스플레이 제품의 유연화, 박형화, 경량화뿐 아니라 대면적화가 가능하다는 것이며, 이러한 특성을 만족하는 기술, 즉 유기소자 기술 및 제품을 개발하는 방향으로 연구가 진행 되고 있다.

이미 우리나라와 미국, 일본, 유럽 등의 주요 평판 디스플레이 업체 및 관련 업체들이 플렉서블 디스플레이와 관련하여 활발한 연구 활동을 벌이고 있으며 몇몇 업체들은 상용화 제품을 생산할 계획도 가지고 있어, 2008년에는 e-Book 시장을 중심으로 본격적인 시장이 형성 될 것으로 예상되고 있다. 유기 디스플레이를 기반으로 한 플렉서블 디스플레이가 제대로 자리 잡기 위해서는 성능면에서는 기존 디스플레이와 최소한 동등해야 하며, 원가 경쟁력을 갖춰야 하며, 기반 기술이 완성되어야 하고, 생산 공정성 확보가 우선되어야만 한다. 이뿐 아니라 신규 애플리케이션이 창출되고 플렉서블 디스플레이가 기존 디스플레이를 대체해 나갈 수 있을 때, 플렉서블 디스플레이가 진정으로 차세대 디스플레이로 자리 매김할 수 있을 것이다. 유기 전자를 기반으로 하는 플렉서블 디스플레이는 경박단소 특성과 저원가 및 대면적화 생산 가능과 같은 점에 초점을 맞춘다면 10년 뒤에 우리 생활에 플렉서블 디스플레이가 깊숙이 들어와 있을 듯 하다.