

“눈에 보이지 않는 컴퓨터”의 탄생이 가능하다

투명전자소자 기술혁명 예고

유비쿼터스시대 우리 주변에 각종 IT기술을 설치하여야 할 때 투명성을 이용하여 공간적·시간적 제약을 없앨 수 있는 미래 IT분야의 핵심 소자로서 투명전자 소자가 떠오르고 있다.

투명전자 소자가 직접회로 형태로 발전하게 되면 “눈에 보이지 않는 컴퓨터”의 탄생도 가능하다고 ETRI의 IT융합 기술 특집호에서 밝히고 있다.

2010년부터 시장을 형성하여 2015년에 200억달러 규모로 급성장할 것으로 예측되는 투명전자 소자의 기술 동향 및 시장 전망을 ETRI 중향분석 보고서의 내용을 요약 게재한다.

투명전자소자의 응용 분야

투명전자소자는 투명성을 적극적으로 활용하여 제조될 수 있는 투명장치에 이용되어 소비자 전자제품, 수송산업, 군사용에 이용될 수 있다. 투명전자소자의 여러 응용 가능성 중에서 가장 먼저 응용이 가능할 것으로 예상되는 자동차 방풍유리 디스플레이 분야를 예를 들어 살펴보자.

자동차 방풍유리는 지금까지 방풍과 온도유지의 기능을 수행하며 여기에 덧붙여 과도한 햇빛을 가리는 기능 정도가 추가되어 왔다.

투명전자소자를 이용한 투명 디스플레이를 적용하게 되면 자동차 방풍유리는 시각적 정보를 전달하여 계기판과 내비게이션이터가 형성될 수 있게 되며 더 나아가서는 증강현실의 기능까지 추가된다면 우리가 유리창을 통해 보는 현실상의 건물이나 도로에 대한 정보를 시각적으로 덧붙여 보여줌으로써 실감나는 안내기능을 구현할 수 있다.

투명전자소자의 응용분야 중에서 가장 핵심적인 분야는 투명디스플레이라고 할 수 있다. 투명디스플레이는 위의 예처럼 기존에는 단순한 창으로 역할을 하던 것을 스마트 창(smart



window)으로 변모시키게 된다. 또한, 투명한 디스플레이의 특징을 이용하여 다중 중첩 형태의 디스플레이가 가능하기 때문에 실감형 혹은 3-D 디스플레이의 구현도 가능하다. 그리고 디자인적인 측면에서의 장점을 활용하여 기존의 디스플레이 중 일부를 대체하여 소비자의 감성을 만족시킬 수 있는 새로운 제품을 만들어 낼 수도 있다.

더 나아가 투명전자소자가 집적회로 형태로 발전하게 되면 이러한 투명집적회로를 이용하여 장래에는 눈에 보이지 않는 컴퓨터의 탄생도 가능하리라는 전망도 가능하다.

그러나 위의 예와 같은 투명전자소자가 상용화되기 위해서는 소재나 소자 기술 등 해결해야 할 과제가 매우 많기 때문에 실제로 가장 먼저 응용될 수 있는 분야는 투명전자소자의 일부분이 활용되는 형태가 될 전망이다.

TFT를 구성하고 있는 투명반도체의 경우에 투명성을 이용하지 않는다 하더라도 차세대 평판 디스플레이로서 가장 많은 연구가 진행되고 있는 능동구동형 유기디스플레이(AMOLED)에 응용될 가능성이 매우 높다. 또한 플렉시블 디스플레이의 구동소자로서의 응용 가능성도 크다고 할 수 있다.

산업맥박

투명전자소자 시장 전망

투명전자소자를 이용한 스마트 창, 스마트 쇼윈도, 투명 내비게이션 등 투명 IT 전자기기는 2010년부터 시장을 형성하여 2015년에 200억 달러 규모로 급성장될 것으로 예측된다. (자료: DisplaySearch 2005. 3, CLSA, Deutsche Bank, LG 전자 자체 분석) 투명전자소자는 디스플레이의 형태로 일차 시장 진입 후, 투명한 특성이 요구되는 전자제품 전반으로 시장을 확충할 것으로 기대하고 있다.

플렉시블 디스플레이는 아직 시장이 형성되어 있지 않으며, 2011년부터 3인치급 이하의 LCD와 OLED 기반의 플렉시블 디스플레이를 채용한 high-end의 모바일 폰이 등장하고, 2013년에는 4인치에서 9인치급의 OLED 기반의 모바일폰 이외의 다양한 애플리케이션에도 플렉시블 디스플레이가 채용될 전망이다.

전체 디스플레이에서 플렉시블 디스플레이가 차지하는 전망은 2012년 3.7%에서 2017년 34.0% 정도로 예상되며 이 경우 2010년 디스플레이 시장이 3.7%일 경우 41.3억 달러, 34.0%일 경우에는 380억 달러로 전망된다.

투명전자소자의 기술 개발 분야

투명전자소자를 구현하기 위해서는 투명반도체, 절연체, 전도체 등 재료 기술과 TFT와 같은 단위 소자를 제조하기 위한 공정 기술, 구조설계 기술이 필요하며 이러한 단위소자를 조합하여 투명전자소자를 제조하기 위한 설계 및 제조 기술이 필요하게 된다.

투명 재료 기술 분야에서 투명반도체의 경우 현재는 ZnO나 InO, GaO, SnO 등 산화물 재료와 이들의 조합으로 구성된 재료가 주로 사용되고 있다.

이중 어떤 재료가 가장 안정적이고 성능이 뛰어난 반도체 성능을 보여줄지에 대해서는 좀 더 많은 재료 연구와 공정 기술 연구가 필요한 상황이다. 현재 산화물 반도체의 경우 대부분

n-type 특성을 보이고 있기 때문에 p-type 특성을 갖는 투명반도체가 구현될 경우 CMOS 형태의 투명전자소자 제작이 가능하고 OLED의 구동에도 유리한 측면이 많기 때문에 도핑 조절 혹은 신물질 개발 등으로 p-type 투명반도체 소재를 찾는 연구도 활발히 진행되고 있다. 이 밖에도 칼코게나이드 등도 가능성이 있는 재료로써 연구가 진행되고 있다.

절연체의 경우에는 새로운 소재를 개발하는 것보다는 지금까지 활용되어온 소재 중에서 주어진 투명반도체와 같이 사용되어 가장 좋은 특성을 보이는 재료를 선정하는 연구가 진행되고 있으며 양산성을 고려하여 실리콘 산화막이나 실리콘 질화막이 가장 많이 연구되고 있다.

투명전도체는 지금 현재도 많은 응용 시장을 가지고 있기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 현재 가장 우수한 특성을 가지고 있으면서 많이 사용되고 있고 가격 문제를 가지고 있는 ITO를 대체하기 위한 연구가 활발하다. 투명전자소자에 쓰이기 위한 투명전도체의 경우 그 저항값이 금속배선과 거의 같은 정도로 낮아야 하기 때문에 새로운 구조나 물질을 사용한 접근법이 필요하다. 현재로는 얇은 금속층을 투명전도체 사이에 삽입한 형태가 많이 연구되고 있다. 또한 투명반도체와 접합되어 접합저항이 작아야 할 필요가 있는 경우에 대하여 접합저항을 낮추기 위한 연구도 필요하다.

투명전자소자를 제조하기 위한 공정개발에서 가장 문제가 되고 있는 것은 투명전자소자를 구성하고 있는 물질이 주로 산화물이라는 것이다. 거의 비슷한 성분을 가지고 있기 때문에 식각시 선택비를 확보하는 것이 쉽지 않다.

또한 대부분의 산화물이 고온공정을 거쳐야 안정된 특성을 보이는 것이 많기 때문에 적절한 저온 공정(값싼 유리기판을 활용하기 위해서는 최대 250°C 이하의 공정온도가 필수적임)을 확보하는 것도 중요한 문제이다.

투명전자소자를 제작하기 위한 기술과 설계 기술은 대면적 소자를 제조한다는 측면에서 기존의 평판디스플레이 제조 기술 및 설계 기술과 거의 유사한 측면이 많다. 하지만, 투명전자


 산업맥박

소자의 경우 디스플레이 이외의 분야에도 응용될 가능성이 많기 때문에 좀 더 다양한 분야에 대한 설계 기술이 필요하다고 하겠다.

국내 기술 개발 동향

국내에서는 현재 일부 기업과 연구소, 학교 등에서 연구가 시작되고 있으며 정부 과제 형태를 띤 연구 개발도 활발히 진행되고 있다.

기업으로는 LG 전자, 삼성 SDI, 삼성전자, LG 화학 등이 연구를 진행하고 있으며 ETRI, KIST, 광주과학기술원, 그리고 연세대, 한양대, 광주과학원, 경북대, KAIST 등 여러 대학, 연구소에서 연구가 진행되고 있다.

주로 연구되고 있는 분야는 가장 먼저 응용가능성이 높다고 생각되는 TTFT에 대한 것으로 많은 연구기관에서는 투명전도체 대신에 금속을 사용하여 산화물 반도체만을 이용한 산화물 트랜지스터의 형태로 연구개발이 진행되고 있다.

한편, ETRI에서는 투명한 형태의 AMOLED 패널을 2006년 이후 발표하고 있다. ETRI은 올해 e-MRS에 발표한바와 같이 ZnO-TFT 구동 투명 AMOLED로서 투명 배선을 적용하고 투명 OLED 기술을 적용하여 패널 투과도가 60% 정도인 패널을 구현하였다.

최근에는 이러한 소자를 이용하여 AMOLED를 구동하는 시제품을 디스플레이 분야 우수 학회에 선보이고 있어서 응용 분야에 있어서는 우리나라가 세계에서 가장 앞선 성과를 보여주고 있다.

이렇게 앞선 성과를 보여주고 있지만, 원천 소재에 대한 것은 일본, 미국 등 선진국에 의존하고 있는 등 원천 기술 확보에 대한 연구가 미진한 상태이다.

TTFT 이외에 투명 전극으로 사용될 투명전도체에 대해서도 디스플레이 분야의 연구과제로 활발한 연구가 진행 중이다

만, 투명전소자에 사용되기 위해서는 기존의 디스플레이에 사용되는 투명전극보다 더 뛰어난 특성이 요구되기 때문에 연구개발 방향에 대한 추가적인 고려가 필요한 상황이다.

국외 기술 개발 동향

투명전소자는 미국은 NSF, DARPA, 기업, 유럽에서는 국가와 기업, 일본에서는 NEDO 프로젝트 및 정부 지원 하에 산학연에서 원천 기술 확보에 주력하고 있으며, 디스플레이 및 전자소자의 응용가능성을 발표하고 있다. 미국에서는 Oregon 주립대학을 중심으로 2000년대 초부터 TTFT에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히 ZnO 계열의 TTFT에 대해서는 다수의 원천 특허를 확보하고 있고, 특히 HP가 이러한 원천 특허를 대부분 인수하여 산업화에 힘쓰고 있는 상황이다.

일본에서는 동경공대를 중심으로 1990년대 후반부터 여러 가지 형태를 가지는 투명반도체에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으며 특히 2004년에는 비정질 형태를 띤 투명반도체를 이용한 TTFT를 플라스틱 기판 위에 구현함으로써 전세계적으로 큰 주목을 받았다. 현재는 Canon, DNP, Casio 등 여러 업체들이 학계와 연계하여 응용 제품 개발에 박차를 가하고 있다.

유럽에서는 포르투갈, 독일 등을 중심으로 주로 학교나 연구소 차원에서 원천 기술 확보를 위한 연구가 진행되고 있다. 최근 HP에서는 언제 어디서나 항상 연결되는 무선 허브를 통하여 구현될 2012년 미래의 신개념의 모바일 제품을 소개했으며, 핵심 기술이 무선 허브와 투명디스플레이였다.

이때 소개된 제품을 소개하면, 모바일 환경의 핵심이 되는 손목시계 형태의 무선 허브와 투명디스플레이, 개인 사용 모바일 PC의 가장 이상적인 형태라 할 수 있는 기존의 노트북 및 태블릿 노트북이 더욱 발전된 형태의 것으로 웹 기반의 트렌드가 형성되면서 더욱 얇은 형태를 가지게 되는 울트라 썬 & 라이트 노트북, 그리고 태블릿 또는 썬 클라이언트를 장착하면 커피 테이블 상단이 커다란 디스플레이 역할을 하게 되어 공용의 디스플레이로서 협업에 사용될 수 있으며 충 전기 베이스의 역할도 하는 디지털 커피 테이블 등 이다.