

본 특집에서는 미래에 떠오를 'Emerging Technologies' 주제와 관련하여 정보통신연구진흥원(IITA)에서 지원하고 있는 미래원천기술개발 내용을 소개하고자 한다. 현재 산업계에서 통용되고 있는 기술에 여가서 소개하는 개발내용이 다양하게 접목, 활용될 수 있기를 희망하며 몇 편의 주제를 다루기로 한다.

Special Report

Emerging Technologies Series IV

투명전자소자

- I. 중요성 및 문제점
- II. 현황 및 접근방법
- III. 연구개발 목표 및 내용
- IV. 연구개발 추진체계 및 방법
- V. 평가항목 및 평가방법
- VI. 기대성과
- VII. 추진 일정계획
- VIII. 활용 (산업화) 방안

I 중요성 및 문제점

가. 연구개발과제의 중요성

미래에 공간 점유 및 시각적 제약을 해소할 수 있는 얇고 투명한 전자소자(Transparent Electronic Devices)가 나온다면 많은 새로운 응용이 가능하게 될 것이다. 여기서 투명전자소자란 Si, GaAs와 같은 불투명 반도체 화합물로 이루어진 일반적인 전자소자와는 달리 투명한 산화물 반도체막을 기반으로 구성되어 광학적으로 투명한 전자소자를 통칭한다. 투명전자소자는 투명 센서, 투명 RFID tag, 투명 보안전자기기 등 정보인식용 부품과 투명 디지털/아날로그 IC 등의 정보처리용 부품, 스마트 창, 투명 정보표시기의 정보표시용 부품 등 투명한 특성이 요구되는 다양한 투명전자부품으로 응용 가능한 미래형 IT 소자이다.

투명전자소자는 현재 사용되고 있는 Si 기반의 전자소자를 대체함으로써 지식정보화 시대에 부응할 수 있는 초박형·고품위의 고부가가치의 디스플레이는 물론 장난감 등의 저가의 전자소자부터 스마트



장선호 기술역 이민경 연구원 조경익 부장

장선호 기술역/공학박사 chans@iita.re.kr, 이민경 연구원 leemk@iita.re.kr
 정보통신연구진흥원 IT부품/융합기술 전문위원실
 조경익 부장/공학박사 kicho@etri.re.kr 한국전자통신연구원 IT융합부품연구소

자동차용 창, 스마트홈, 기능성 자동차유리, 지능형 쇼윈도우 등 많은 시장에 응용될 수 있을 것이다. 투명전자소자는 2010년 이후 시장이 형성되어 2015년경에는 200억달러의 시장규모를 가질 것으로 예측되고 있다. (출처 : DisplaySearch 2005, CLSA, Deutsche Bank)

투명전자소자의 기술은 전 세계적으로 연구개발 초기단계이나 최근에 일본, 미국, 유럽 등에서 R&D 투자가 급격하게 확대되고 있으며 국내에서도 기술 자립도 확보를 위해서는 연구개발 투자의 시급성이 요구되고 있다. 투명전자소자는 원가가 낮고 공정이 단순하여 저가 제조가 가능하므로, 제조/공정기술의 국내 인프라를 활용하여 서비스와 연계된 고부가가치의 IT 기기 개발에 활용될 수 있을 것이다. 2010년 이후 투명전자소자를 이용한 IT 기기 시장에서의 국가경쟁력을 확보, 제고하기 위해서 원천 핵심 기술을 확보하여 기술 기반을 마련하고, 고부가가치의 신규시장 창출 및 산업의 경쟁력을 강화시킬 수 있는 관련 소재·부품 개발을 통한 인프라 구축 및 국산화를 향상이 필요한 시점이다.

투명전자소자를 이용한 스마트 창은 높은 개발 위험성을 가지고 있지만, 반대로 개발에 성공할 경우 큰 시장을 형성할 수 있는 high risk, high return 기술로서, 풍부한 국내 인프라를 활용할 경우, 조기에 시장 진입하여 신성장 동력으로 자리매김할 수 있을 것으로 기대된다.

나. 연구개발과제 수행의 제약요인

투명전자소자를 이용한 스마트창은 아직 핵심 요소기술이 개발되지 않은 단계이며 향후 많은 기술개발을 요구하고 있으므로 high risk에 대한 부담이 큰 편이며, 최근 신 개념의 투명 정보표시 매체에 대한 연구가 일본을 중심으로 신소재에 대한 초기적 단계에서 집중적으로 이루어지고 있어 이에 대한 원천기술 확보는 다소 뒤늦었고 부품 및 응용기술에 대한 핵심/기반 기술 특히 확보에 주력해야 한다.

투명전자소자의 성장 잠재력에도 불구하고, 조기 상용화를 위해서는 신소재/공정 확보, 재현성/신뢰성 확보의 기술적 난제를 해결해야 하나 연구 내용에 대해서는 거의 발표된 것이 없고 또한 인프라 구축이 되어 있지 않아 기술 공유가 어려운 상태이다. 투명 전자소자의 개발에서 전기적, 광학적 안정성, 신뢰성 및 균일도가 가장 큰 문제로 대두되고 있는데 이의 해결을 위한 독창적 기술 개발이 요구된다. 투명 전자소자의 제품화를 위해서는 배선용 투명 전극재료의 저저항화가 가장 큰 이슈이지만 현재까지는 그 특성이 산화물 물질의 한계에 도달한 것으로 여겨지므로 새로운 접근이 요구된다.

투명전자 소자의 경우 투명반도체 자체의 기본적인 물성 (전하수송 특성, 도핑 등 불순물 제어, 안정성, 계면 특성)에 대한 연구가 확립되어 있지 않은 상황이며, 여러 원소의 조합으로 매우 다양한 물질이 투명 반도체 및 절연체, 전도체의 후보가 될 수 있으며 이 중에서 투명전자소자에 적합한 물질을 탐색하는 작업은 시간이 많이 걸리고 어려운 연구과정이 될 수 있다.

다. 연구개발과제 수행결과 기대효과

투명전자소자를 이용한 투명 IT 전자기기는 다양한 응용성을 갖고 있는데, 스마트 창, 고부가가치 유리, 기능성 자동차 부품 (유리, 대쉬보드, 네비게이터), 보안전자기기, 태양전지, 군용전자기기, 게임기, 장난감, 투명 PC, 쇼윈도우 등이 그 예이다. 투명전자소자를 이용한 스마트창은 제조공정이 단순하고 대면적 공정이 가능하여 원가 절감 효과가 높으며, 다양한 응용분야(그림 1) 및 시장잠재력이 높은 기술이다.



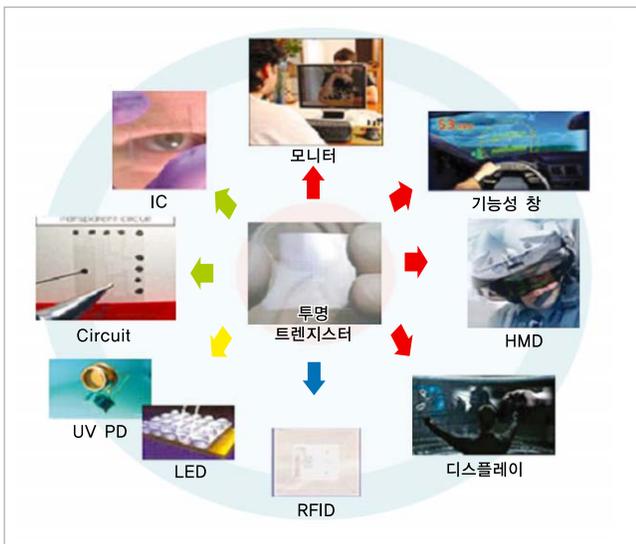
〈그림 1〉 스마트창 응용분야

투명전자소자(그림 2)의 경우 현재 보유하고 있는 세계최고 수준의 반도체 기술을 활용하여 집중적인 연구개발이 이루어지면, 전 세계적으로 아직 개발 초기단계이기 때문에 물질 이외의 핵심 원천기술을 다수 확보하여 세계시장의 선점이 가능할 것이다.

제조/공정기술이 발달한 국내 인프라를 활용하면 재료/부품의 수입 의존도를 최소화하고, 고부가가치의 IT기기 출현이 가능할 것이

며, 국내의 풍부한 IT인프라 활용으로 조기 시장진출 및 부품/소재에서 시스템, 서비스까지 전후방 산업의 균형 발전이 기대된다.

투명전자소자 중에서 가장 먼저 시장이 형성될 가능성이 높은 분야는 투명 디스플레이 분야로 high mobility, high stability를 갖는 트랜지스터 제조기술 확보를 통하여 기존 디스플레이의 새로운 응용이 될 것이다.



(그림 2) 투명 트랜지스터 응용분야

앞으로 p-type의 투명 트랜지스터의 구현 및 저가격에 고신뢰성의 전자소자 제조가 가능해지면 투명 로직 IC가 실리콘 기반의 로직 IC/아날로그 IC 시장의 5%를 점유할 경우에 2015년에 120억달러 이상의 시장이 형성될 것으로 예측된다. (출처 : iSuppli 2004년 12월 자료의 CAGR 9%를 근거로 산출함)

투명전자기술은 공간의 시각적인 변형없이 다양한 공간에 정보단말기기를 이식(移植)함으로써 유비쿼터스 환경에서 요구되는 정보의 접근 용이성과 기술과 감성의 조화를 이끌어 낼 수 있는 인간, 환경 친화적인 기술로서 미래 IT기술을 선도할 와해성 기술(Destructive Technology)로 자리매김할 것으로 기대된다.

II 현황 및 접근방법

가. 국내·외 현황

1) 세계 기술현황

투명전자소자는 2003년도 일본의 노무라가 단결정 channel 물질을 이용하여 이동도 80cm²/V.s의 소자를 발표하여 전 세계적으로 투명전자소자의 구현에 대한 가능성을 인정받음으로써 주목을 끌게 되었고, 투명전자소자기술은 크게 디스플레이를 위한 backplane과 RFID tag, 센서 등의 전자소자로 구분이 되어 개발되고 있다. 현재, 미국은 NSF, DARPA, 산업체(HP)에서, 유럽은 국가(포르투갈)와 산업체(Philips)에서, 그리고 일본에서는 NEDO project 및 정부지원 하에 산(Sony) 학, 연에서 투명전자소자 등 신기능 소자의 원천기술 확보 및 개발에 주력하고 있으며 디스플레이 및 전자소자의 응용가능성을 발표한 바 있다.

오레곤주립대(미)는 국립과학재단(NSF)의 지원을 받아 산화물을 사용한 투명 IC를 개발하였고, HP가 Licensing을 받아 상업화 기술 개발을 추진하고 있는데, 오레곤주립대가 투명한 트랜지스터 개발에 사용한 재료는 ZnO based 물질로서, ZnO는 원가가 저렴하고 다루기 쉬우며, 투명할 뿐만 아니라 환경에 무해한 화합물이라는 장점이 있다.

일본에서는 다원소계 비정질로 channel 물질을 형성하여 기존의 디바이스보다 전하 이동도가 10배 이상 빠른 새로운 형태의 투명 트랜지스터를 개발하고 있다. 이때 결정질의 질서를 따르지 않으므로 열처리 공정이 필요 없어 제작비용을 크게 줄일 수 있으며, 상온에서 트랜지스터 제작이 가능하다는 장점이 있다. 한편 일본의 동경기술원에서는 새로운 p-type 산화물 재료를 개발하고 있으며, 포르투갈에서는 ZnO를 이용하여 상온에서 sputtering power만을 조절하여 우수한 특성의 트랜지스터를 단위소자에서 확보하였다.

대부분의 기술개발은 단위소자 수준에서 이루어졌으나 일본의 고치대학에서 스퍼터링법을 이용하여 저온에서 ZnO 트랜지스터 어레이를 제작, 세계 최초로 이를 이용한 컬러 TFT-LCD를 발표하였으나 이 경우 게이트 전극은 금속을 사용함으로써 투명도는 확보하지 못한 상태이다. 스퍼터링법 혹은 PLD법으로 제작한 대부분의 투명 트랜지스터의 신뢰성에 대한 발표는 전무한 상태이며 주로 이동도 향상에 대한 기술 개발이 주를 이룬다. 양산성을 고려한 소자 제조 공정의 개발은 거의 없는 상태로서, lift-off 혹은 shadow mask를 사용하여 제조한 단위소자 개발이 주를 이룬다.

2) 국내 기술현황

국내에서는 ETRI, LG전자, LG화학, 삼성종합기술원, 삼성SDI,

연세대, 광주과학기술원, 한양대, KIST 등에서 산화물 박막 트랜지스터를 연구하고 있으며 이동도 및 전류점멸비 측면에서 선진수준에 육박하는 성능을 얻고 있다. LG전자, 삼성전자, 삼성SDI 등의 산업체 연구소에서는 차세대 디스플레이의 응용을 목적으로 산화물 전자소자를 기초 연구 단계에서 진행하고 있다.

스퍼터링법에 의한 ZnO 다결정성 반도체막을 사용한 트랜지스터의 개발이 주류를 이루고 있으며 연세대에서는 ZnO 트랜지스터를 이용한 자외선 센서 등을 개발하고 있다. 스퍼터링법을 이용한 비정질의 ZnInGaO 혹은 ZnSnO 반도체막과 금속전극을 이용한 트랜지스터의 개발이 이루어지고 있지만 일본의 공정법, 소재를 그대로 이용하고 있기 때문에 소재에 관한 원천기술 확보 가능성은 아직 해결해야 할 문제로 남아있다.

〈표 1〉 국내외 연구 현황

	Key Tech	비 고
Philips(네)	· SnO ₂ Ferroelectric Oxide TFT 개발	· IDRC '96 발표
동경공대(일)	· a-oxide TFT 특성 연구	· '04 Nature 발표 
U.Florida(미)	· p-type ZnO Diode 개발	· APL 발표(2004)
CENIMAT(포)	· TFT using ZnO and IZO	· APL 발표(2004)
HP(미)	· ZnO TFT 개발 (using ALD deposited insulator)	· MRS05 발표
ETRI	· ZnO TFT driven AM-OLED 개발 (using PEALD deposited materials)	· IDW05 발표 · SID06 발표 
도판 프린팅(일)	· IGZO driven flexible e-paper 개발	· IDW05 발표 
삼성종합기술원	· ZnO TFT 특성연구	· MRS06 발표
Oregon state U.(미)	· passivation for ZnO TFT 개발 · Ring-oscillator 개발	· MRS06
고치대(일)	· ZnO TFT driven AM-LCD 개발 (1.52", TFT 이동도 50.3cm ² /V·sec	· SID06 발표 

3) 동일, 유사내용에 대한 국내·외 수행내용

- 일본 동경대학교 호소노 그룹:
 - 비정질 InGaZnO TFT를 이용한 ring-oscillator 개발
 - 플렉시블 비정질 TFT 개발: 이동도 12cm²/V·s, 전류점멸비 10⁶, S,S 0.24V/dec (2006, ECS fall 발표)
- 일본 도판 프린팅: 전자 종이 구동을 위한 플렉시블 a-InGaZnO

TFT array개발 이동도 4cm²/V·s, 전류점멸비 10⁴

- 일본 Cannon: OLED 구동을 위한 a-InGaZnO TFT 및 ring oscillator 개발, 이동도 4.8cm²/V·s, 전류점멸비 10⁹, 410KHz 동작, (2006, ECS fall 발표)
- 일본 고치대 Furuta 그룹: 스퍼터로 증착한 top gate 구조의 ZnO TFT array 개발하여 AM-LCD 구현
- 일본 동북대 가와사키 그룹: n, p type 의 ZnO 성막 및 ZnO TFT 모델링 및 시뮬레이션 연구
- 미국 오레곤 주립대 J. Wager 그룹: ZnSnO를 이용한 ring-oscillator 개발
- 미국 Dupont: ALD 법으로 증착한 게이트 절연막을 포함한 ZnO TFT 개발
- 미국 HP: ZnSnO TFT 개발 및 디바이스 모델링제안
- 포르투갈 Fortunato: 이동도 25cm²/V·s, 투과도 80%의 투명 IZO TFT 개발
- 삼성종합기술원: ZnO, InGaZnO를 이용한 트랜지스터 개발, ZnO TFT 이동도 0.8cm²/V·s, InGaZnO TFT 이동도 10cm²/V·s,
- 연세대: ZnO TFT UV sensor 개발, 이동도 0.6cm²/V·s,
- 한양대: 스퍼터링법으로 제조한 ZnO TFT의 열처리 효과 연구, 이동도 6.82cm²/V·s

나. 핵심요소 및 접근방법

1) 핵심 요소기술

- 투명트랜지스터의 특성 확보를 위한 소자의 투명도, 신뢰성, 안정성, 균일성, 이동도, 전류점멸비 관련기술
- 투명스마트창 개발을 위해 투명전자소자에 적합한 정보창의 구조설계, 제조기술, 광학적 설계기술, 스마트창 passivation 기술
- 투명 IC의 설계, 집적, 공정 기술
- 박막제어기술
 - 투명전극저저항화기술: 자원고갈의 염려가 없고 저가의 고품질 투명전극확보를 위한 도핑원소 및 모재로 개발 및 박막형성 기술
 - 박막성장기술: 소자이동도를 향상시킬 수 있는 반도체박막의 특성을 분석하고 박막 성장을 제어함으로써 고품질의박막을 성장하는 기술. 산소함량 제어, 도핑물질 선정 및 조성비 확보, 저온공정 및 열처리조건 확립
 - 결정크기 제어기술: 박막내의 캐리어양을 조정하여 전류점멸비를 증대시키며 이동도를 높일 수 있는 결정크기를 조정, 제어 할 수 있는 기술
 - 게이트 절연막 성장기술: ALD, PECVD를 이용한 고유전율, 저유

전율의 무기 절연막 성장 기술 및 저가 소자 제조를 위한 유기절연막 개발

- 표면제어기술 : 계면을 형성하는 게이트 절연막의 표면제어를 통해 반도체 박막의 결정성과 트랩의 양을 조정함으로써 이동도를 높이는 기술
- 결합치유기술 : 박막증착시 산소분압의 조정 등을 통하여 원소조성을 조절함으로써 결함을 치유하고 박막 내의 불순물의 포함을 억제하여 소자의 열화현상을 최소화 하여 안정성을 확보
- 계면처리기술 : 신개념의 표면처리기술로 소자의 안정성 확보
- 공정종합기술
 - 각 공정간의 정합성 확보 : array화 하기에 적합한 공정성을 확보 하고 신개념의 소자 구조 개발
 - Passivation 기술 : 소자의 환경적, 후공정 안정성을 확보할 수 있는 보호막 형성기술
 - 반도체 박막과 ohmic contact이 우수한 소스, 드레인 물질 선정 및 반도체막 손상을 막을 수 있는 공정 기술

2) 접근방법

저가의 고품위 투명스마트창 개발에 필요한 연구분야를 크게 투명 트랜지스터 어레이와 IC 설계기술, 투명정보창 제조기술, 그리고 모듈제작 기술로 나누어 산·학·연 공동연구로 추진한다. 핵심요소기술 개발을 위하여 각 기관별 강점에 집중 투자 개발하되 사업화의 약점을 빨리 파악하여 산·학·연이 유기적인 협력하에 보완 개발한다. 투명전자소자 기술을 확보함에 있어 기존의 반도체 소자가 가지지 못하는 투명성이라는 특성을 최대한 활용한 소자 구조나 회로구성을 가지도록 기술 개발 방향을 잡고, 투명전자소자 기술의 핵심은 안정성이 뛰어난 투명 반도체 물질의 개발 및 적용에 있으며 이러한 투명반도체 물질은 생산성과 기존의 공정에 쉽게 적용 가능한 공정 적합성을 가지고 있어야 할 것이다.

유/무기 성막기술 및 이를 이용한 트랜지스터 어레이 제조기술을 보유하고 있는 연구소를 주관기관으로 하고 IT정보단말기 제조에 축적된 기술을 보유하고 있는 대기업과, 투명전자소자 제조에 필요한 재료개발의 기술, 트랜지스터 어레이 제작기술을 보유하고 있는 중소벤처, IC설계 및 트랜지스터 신뢰성 연구 등에 많은 지식과 경험을 가지고 있는 대학 등을 공동 연구 파트너로 하여 아래와 같은 독자적 기술을 확보하도록 한다.

- 저가의 고품위 투명트랜지스터 개발에 필요한 절연막, 반도체막, 전극재료 개발 및 계면제어 기술
- 투명IC, 투명트랜지스터 어레이 설계 기술
- 배선의 고저항으로 발생할 수 있는 RC delay 등의 문제를 해결 할 수 있는 독창적인 설계기술

- 스마트창의 안정성을 확보할 수 있는 passivation 기술
- 투명도 확보를 위한 광학적 설계 기술
- 각 모듈별 인터페이스 기술 개발
- 양산에 적절한 공정별 정합성 확보 기술

다. 혁신성과 독창성

n형과 p형의 투명트랜지스터를 동시에 개발하여 complementary type의 투명 로직소자 기술을 개발하고, 스퍼터 등의 박막 증착방식 외에도 ALD법이란 독창적인 공정 방법으로 n/p 형의 반도체 박막을 개발하여 환경에 안정적인 고신뢰성의 소자 개발을 유도한다. 연구소가 보유하고 있는 유기절연막, 유/무기 hybrid type의 passivation 기술을 투명스마트창 제조기술에 적용함으로써 저가의 스마트창을 구현하도록 한다.

저전압구동이 가능하도록 고유전율, high breakdown strength를 갖는 절연막을 개발하여 IC, 스마트 창 등에 사용하며, 플렉시블 AM-OLED 개발을 통하여 축적된 저온공정 기술을 통하여 저가의 스마트창을 제조할 수 있도록 개발하고, 투명성을 이용한 새로운 설계기술을 통하여 고저항의 투명배선의 단점을 보완할 신개념의 어레이를 구현하도록 한다.

III 연구개발 목표 및 내용

가. 최종목표

구 분	내 용
최종목표	다가능 투명 전자소자 및 이를 이용한 투명 IT단말기 구현 기술 개발 (투과도 > 70% 이상, 신뢰성 > 10,000시간, 두께 < 2mm)
세부목표	<ul style="list-style-type: none"> · 고품위 투명 전도체/반도체/절연체 소재 및 성막 기술 개발 · n형/p형 투명전자소자 기술 개발 (이동도 100/5cm²/V·s) · 투명 로직소자 기술 개발 (Complementary type, < 5V 구동) · 투명 반도체 결합제어 기술 개발(신뢰성 > 10,000시간) · 투명 소자/부품 집적화 기술 개발 · 플라스틱 기반 투명전자소자 기술 개발

나. 연차별 연구개발 목표 및 내용

구분	목 표	내 용
1차년도	스마트 창 구현을 위한 투명 전자소자 기반 기술 개발 - 이동도(n형) $10\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 투과도 50%	<ul style="list-style-type: none"> · 고품위 투명 전도체 소재/성막 기술 (투과도) 60%, 비저항 <math>(1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm})</math> · 고품위 n형 투명 반도체 성막 기술 · 고품위 투명 반도체에 적합한 절연막의 선정 및 평가 · n형 투명 트랜지스터 기술 (이동도) <math>10\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}</math> · 산화물 트랜지스터 전기적 특성 원인 규명 · 고품위 산화물 반도체 성막용 타겟 개발을 위한 나노 미립자 제조 및 순열 조합 합성법 확립
2차년도	투명전자소자 집적기술 개발 - 이동도 (n형) $20\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, (p형) $0.5\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 투과도 60% - 투명트랜지스터 어레이 (3인치, 투명 트랜지스터 uniformity <math>< \pm 10\%</math>)	<ul style="list-style-type: none"> · 고품위 투명 절연체 성막 기술 · 고품위 p형 투명 반도체 성막 기술 · 투명 트랜지스터 소자 구조 설계/최적화 기술 · n형 투명 트랜지스터 기술 (이동도) <math>20\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}</math> · p형 투명 트랜지스터 기술 (이동도) <math>0.5\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}</math> · 투명 트랜지스터 어레이 기술 · n형 투명전자소자 어레이 구동 기술 확보 · In_2O_3, Ga_2O_3, SnO_2, ZnO의 2,3 성분한 조합을 이용한 순열조합 박막제작 및 특성연구
3차년도	투명 IC 핵심 기술 개발 - 이동도 (n형) $50\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, (p형) $1\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 투과도 70%, 신뢰도 (수명) $5,000\text{시간}$ - 투명 IC (투명 IT 단말기 용 Scan driver) - 정보입력회로 실장형 투명 IT 단말 모듈 (투명 IC 외장형, 3.5인치 QCF+급)	<ul style="list-style-type: none"> · n형 투명 트랜지스터 기술 (이동도) <math>50\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}</math> · p형 투명 트랜지스터 기술 (이동도) <math>1\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}</math> · 투명 트랜지스터 계면 제어 기술 · 투명 반도체 결합 제어 기술 (신뢰도) 5,000시간) · n형 투명 디지털 IC 집적 기술 (<math>15\text{V}</math> 구동) · 저가격 패널 기반 기술 개발 · 광학적 정합을 위한 buffer 층 개발 · 정보입력회로 실장형 투명 IT 단말 모듈화 기술 개발
4차년도	투명 IC 집적형 스마트 창 핵심 기술 개발 - 이동도 (n형) $70\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, (p형) $3\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 투과도 70%, 신뢰도 (수명) $7,000\text{시간}$ - 무선통신회로 실장형 투명 스마트 창 모듈 (3.5인치 QCF+급, 두께 2mm, 투명 IC 내장)	<ul style="list-style-type: none"> · 고이동도 n형 투명 트랜지스터 기술 (이동도) <math>70\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}</math> · 고이동도 p형 투명 트랜지스터 기술 (이동도) <math>3\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}</math> · 투명 트랜지스터 패시베이션 기술 (신뢰도) 7,000시간) · n형/p형 투명 디지털/아날로그 IC 집적 기술 (<math>15\text{V}</math> 구동) · 저가격 패널 기술 개발 · 플라스틱 기반 고품위 투명 절연체/반도체/전도체 성막기술 · 무선통신회로 실장형 투명 스마트 창 모듈화 기술 개발
5차년도	투명 IC 집적된 고투과 고신뢰 투명 스마트 창 기술 개발 - 이동도 (n형) $100\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, (p형) $5\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 투과도 70%, 신뢰도 (수명) $10,000\text{시간}$ - 무선통신회로 실장형 고신뢰 스마트 창 모듈 (7인치 VGA급, 두께 2mm, 투명 IC 내장형) - 플라스틱 기반 투명전자소자 기반 기술 개발 : 이동도 (n형) $10\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 투과도 50%	<ul style="list-style-type: none"> · 고이동도 n형 투명 트랜지스터 기술 (이동도) <math>100\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}</math> · 고이동도 p형 투명 트랜지스터 기술 (이동도) <math>5\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}</math> · 저전압 n형/p형 투명 디지털/아날로그 IC 집적 기술 (<math>5\text{V}</math> 구동) · 투명 IT 스마트 구현을 위한 투명 전자소자 집적 기술 (신뢰도) 10,000시간) · 플라스틱 기반 투명 트랜지스터 기술 · 저가격, 고신뢰성 패널 기반기술 개발 · 무선통신회로 실장형 고신뢰 스마트 창 모듈화 기술 개발

IV 연구개발 추진체계 및 방법

가. 연구개발추진체계

• 투명전자소자 기술은 성공리에 기술 확보시 산업적/경제적/문화적 파급효과가 크지만, 산업체가 직접 투자/개발하기에는 기술의 성숙도 측면에서 위험성이 크므로 정부 주도하에 기초-응용 기술 개발 및 표준화는 연구소에서 주체적으로 수행하고, 상용화 기술 개발은 산업체에서 참여 하여 수행하되, 연구기획-개발 단계부터 생산주체와 연계하여 적기 기술이전 및 상용화 기술 개발이 가능하도록 한다.

• IT 스마트 창을 구현하기 위한 핵심 기술인 투명 산화물 기반의 n형/p형 반도체 성막기술과 이를 기반으로 하는 투명 트랜지스터 기술, 고성능 투명트랜지스터를 이용한 투명 IC 설계 및 제작 기술, 그리고 신뢰성 확보를 위한 passivation 기술 등은 신뢰성, 장수명화 기술 및 성막기술을 보유하고 있는 연구소에서 학계와 함께 소재/공정기술의 핵심기술 및 IP 확보에 주력한다.

• 공동연구기관으로 참여하는 산업체에서는 소재 가공기술 및 저가격화의 공정기술을 확보하며, 연· 학에서 개발한 핵심기술의 집적화를 통하여 조기 상용화를 이룬다.



〈그림 3〉 단계별 추진체계

• 1,2단계에서는 성막기술, 소자기술 등 핵심 원천기술을 개발하고, 3 단계에서는 1,2단계에서 개발된 기술의 집적화 및 저가격화 기술 등의 상용화 기술을 개발하며, 연· 학을 중심으로 차세대 기술인 플라스틱 기반의 투명전자소자 핵심기술을 병행 개발한다.

• 국가간의 경쟁력 확보를 위하여 선진 연구기관과의 공동연구를 추

진하여 Win-Win 전략으로 세계적인 선점 지적재산을 확보할 예정이며, 산학연이 단일 연구목표 아래에서 유기적인 관계를 통한 차세대 디스플레이 분야의 국가경쟁력을 확보한다.

나. 연구개발방법

- 연구소는 “플렉시블 디스플레이” 사업에서 축적된 절연체, 반도체, 전도체 성막 기술을 바탕으로 투명한 특성을 확보하면서 성막기술과 더불어 투명 트랜지스터, 이를 이용한 투명 IC 설계 제작 기술의 원천 기술과 생산성을 확보할 수 있는 핵심 기술 개발에 주력한다.

- 디스플레이 패널 제조 및 양산화에 축적된 기술을 보유하고 있는 대기업에서는 기 확보된 기술을 바탕으로 투명트랜지스터 어레이와 집적된 기술을 바탕으로 시제품 개발 및 시장 창출에 주력하며, 투명전자소자 제조에 필요한 재료 개발의 기술, 트랜지스터 어레이 공정기술에 대하여 많은 know-how 기술을 축적하고 있는 중소벤처에서는 투명 스마트창의 핵심 소재/공정 기술을 개발함으로써 소재자립도를 높인다.

V 평가항목 및 평가방법

가. 평가항목

평가항목 (주요성능 Spec)	단위	가중치 (%)	세계최고 수준, (보유국/보유기관)	국내최고 수준(기관)	개발목표치	
					당해	최종
투명 전자소자의 광투과도(@550nm)	%	15	-	-	70	70
투명 TFT의 이동도 (n형/p형)	cm ² /V·s	20	50(일본/고치)	100(LG)	50/1	100/5
투명 TFT의 신뢰도(ΔGm =10%@정상동작상태)	h	10	-	-	5,000	10,000
투명 TFT의 Off Leakage	fA/um	10	10(ETRI/한국)	10(ETRI)	3	1
투명 IC 구동 전압	V	15	-	-	15	5
스마트 창 크기 (@대각 길이)	inch	10	-	-	-	7
스마트 창 두께	mm	10	-	-	-	2
스마트 창 신뢰도 (@휘도 50% 감소)	h	10	-	-	-	10,000
계		100				

나. 평가방법(당해단계)

평가항목	평가 기준	근거(보통기준)	평가점수				
			아주미흡(1)	미흡(2)	보통(3)	우수(4)	아주우수(5)
광투과도(@550nm)	크기	50%	30	40	50	60	70
투명 TFT의 이동도 (n형/p형)	크기	30/0.5 cm ² /V·s	5/0.01	10/0.1	30/0.5	40/0.7	50/1
투명 TFT의 신뢰도	크기	3,000h	500	1,000	3,000	4,000	5,000
투명 TFT의 Off Leakage	크기	10fA/ um	50	20	10	5	3
투명 IC 구동 전압	크기	20V	40	30	20	17	15

VI 기대성과

가. 기술적 측면

투명 스마트창 개발의 핵심 요소기술인 투명 트랜지스터는 저온에서의 공정으로도 Si 기반의 트랜지스터 수준의 특성을 가지고 대면적화가 용이한 소자이므로 저가 제조가 가능하여 트랜지스터를 필요로 하는 다양한 제품군에의 응용이 가능할 것이다. 세계적으로 연구 개발이 아직 초기 단계에 있기 때문에 핵심 요소기술의 발굴이 상대적으로 용이할 것이며 반도체 제조 기술의 인프라와 디스플레이 제조 기술의 인프라를 동시에 활용함으로써 투명 전자소자 개발의 시기를 최대한 앞당길 수 있을 것으로 기대된다.

나. 경제 산업적 측면

투명 스마트창은, 고부가유리, 기능성 자동차 부품(유리, 대쉬보드, 네비게이터), 보안전자기기, 옥외 광고용, 태양전지, 군용전자기기, 게임기, 장난감, 투명 PC 등의 다양한 제품군의 시장에 이용 가능하며, 디자인 측면에서 강점을 가져야 하는 새로운 제품군의 이용으로 인하여 새로운 전자기기 시장을 창출할 것으로 기대된다.

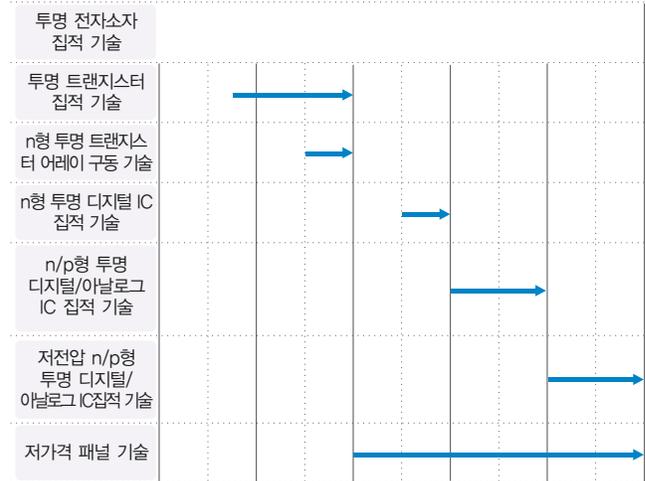
투명트랜지스터의 일차적 시장 형성은 디스플레이 분야가 될 것으로 예측되는 바, 균일도 및 우수한 소자 특성으로 인하여 OLED용은 물론이고, 가격 경쟁에서의 우월성으로 인하여 기존의 TFT-LCD 시장을 공유함으로써 디스플레이 시장의 급격한 변동을 예고할 전망이다. 투명전자를 이용한 차세대 디스플레이 시장은 2015년 200억달러 규모로 성장할 것으로 예측된다.

p-type의 투명 트랜지스터의 구현이 가능하고 또 저가격에 고신뢰성의 전자소자 제조가 가능해지면 투명 로직 IC가 실리콘 기반의 로직 IC/아날로그 IC 시장의 일부를 대체하며 투명성을 응용한 다양한 IC 제품군의 개발이 가능하게 될 것이다.

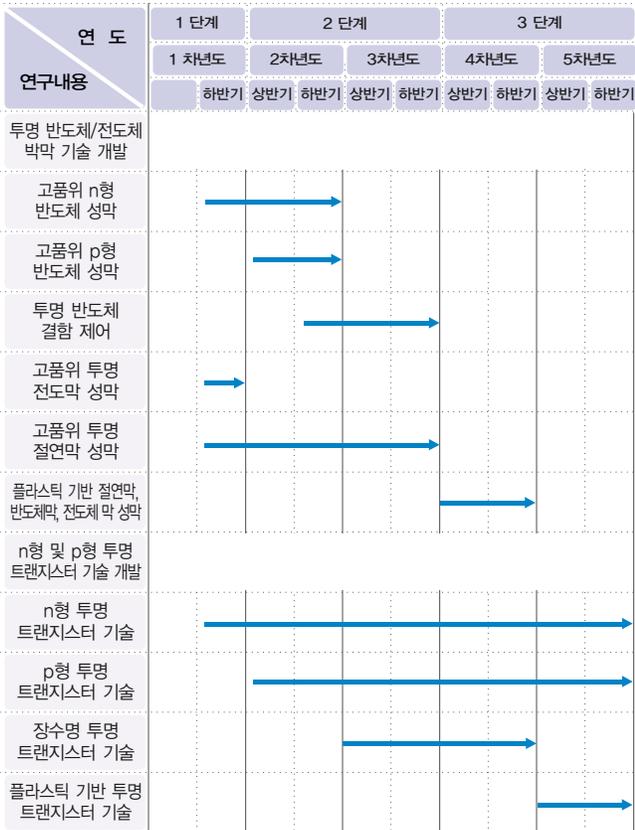
(표 2) 투명전자소자 시장규모 (단위 : 억달러)

구분		2008	2009	2010	2011	2012	CAGR
투명전자 소자	세계	109	119	130	141	154	9%
	국내	5.5	6.0	6.5	7.1	7.7	9%

※ DisplaySearch 2005, CLSA, Deutsche Bank
국내시장은 세계시장의 5%로 가정, 매년성장률은 9%로 가정



VII 추진 일정계획



VIII 활용(산업화) 방안

가. 기술평가

구분	구체적인 내용(과학적/기술적 원리 및 응용과정과 관련된 내용)
기존(선행)기술과 비교하여 유리한점	<ul style="list-style-type: none"> 투명 전자소자의 소재인 산화물 반도체는 Si 기반 반도체와 비교시 낮은 공정 온도에서도 우수한 특성 확보할 수 있기 때문에 저가, 고품위의 전자소자 제조가 용이하며 더 나아가서 플렉시블한 소자 제조도 가능하게 됨 Si 소자의 복잡한 공정과 비교시 보다 간단한 소자 제조 공정으로도 고품위, 고신뢰도의 소자 개발이 가능함 로직 소자 제조도 가능한 우수한 특성을 가지므로 응용 제품군의 확대가 유리함 스마트 창은 구동회로 일체형으로서, 박형, 경량화가 가능하고 고속 응답, 안정성을 증가할 수 있음 친환경적이고 저가의 소재 사용이 가능하므로 차세대 전자 소자로 각광받을 것임 투명전자소자를 이용한 부품은 기존의 부품과는 다른 미래 기술/산업에 대한 예측을 통한 시장 예측/제품(부품)에서 새로운 시장을 개척할 것으로 예측됨
기존(선행)기술과 비교하여 불리한점	<ul style="list-style-type: none"> 기술의 초기 개발 단계이므로 신뢰성, 안정성등의 기술을 아직 검증받지 못한 신기술임 투명성 확보를 위한 배선 설계, 박막의 광학적 설계 등에 어려움이 예상됨

나. 활용(상용화) 가능성

구 분	구체적인 단계 및 내용
기술의 응용분야 및 활용방법	<ul style="list-style-type: none"> 고부가가치 유리, 기능성 자동차 부품 (유리, 대쉬 보드, 네비게이터), 보안전자기기, 옥외 광고용, 태양전지, 군용전자기기, 게임기, 장난감, 투명 PC, 휴대용 지문 인식 센서 등의 다양한 제품군의 시장에 이용 가능
적용상의 애로점과 극복(개선) 방안	<ul style="list-style-type: none"> 고신뢰도 확보를 위한 적절한 재료 개발 및 소자 설계 기술 확보 투과도 확보를 위한 배선 재료 개발 및 광학적 설계 기술 확보 장수명 확보를 위한 passivation 기술 확보
제품/서비스의 예상 수요자(층)	<ul style="list-style-type: none"> 본 기술을 이용한 제품은 개인용, u-home 구축에 사용될 전자제품, u-사회, 군사용으로 사용될 예정 이므로 개인, 가정, 사회 각 계층을 수요자층으로 예상함
제품/서비스화하여 시장에 도입되기 까지 요구되는 시간의 정도	<ul style="list-style-type: none"> 기존의 단순한 창에 비교적 단순한 IT 기능을 추가 한 스마트 창을 개발하여 큰 추가 비용 없이 기존의 창을 일부 대체하도록 함(2010) 스마트 창의 성능을 개선하여 필요에 따라 다양한 기능성을 갖게 하여 스마트 창이 사용되는 시장을 넓임 (2012) 각종 기판에 스마트창이 제조될 수 있도록 하여 주변의 사물에 스마트 창이 임베디드 될 수 있도록 하고 그 기능성이 주변 환경에 맞추어지도록 하여 스마트 창의 시장을 극대화 함(2015)

라. 이전가능한 기술목록

기술이전 목록	주요 핵심기술 내용	이전여부 및 시기	이전형태
원자층 증착법을 이용한 ZnO 트랜지스터 제조기술	제조 공정 기술	2008.12	특허, 공정도, 시제품
원자층 증착법을 이용한 p-type트랜지스터 제조기술	제조 공정 기술	2009.12	특허, 공정도, 시제품
투과도 향상을 위한 스마트창 전극 배선 제조기술	제조 공정 기술	2010.12	특허, 공정도, 시제품
저온 공정의 고품위 절연막 형성	제조 공정 기술	2011.12	특허, 공정도
스마트창 설계기술	설계, 제작 기술	2012.12	특허, 시제품
투명 표시창 구동 IC 기술	설계, 제작 기술	2011.12	특허, 공정도
투명 트랜지스터 화소 설계	설계, 제작 기술	2010.12	특허, 공정도

다. 시장 및 경쟁

구 분	구체적인 내용
내수시장 창출효과	<ul style="list-style-type: none"> 산화물 트랜지스터를 기반으로 하는 차세대 디스플레이 시장의 급속한 팽창 국내 IT 산업의 발전과 더불어 유비쿼터스 환경으로 공간 임베디드 정보단말의 출현과 급속한 시장 확대 예측됨
수출효과/수입대체효과	<ul style="list-style-type: none"> 본 과제에서 개발하는 소재분야가 투명 전자산업의 발전과 더불어 수입대체 효과 및 수출 확대에 기여 할 수 있음 차세대 디스플레이인 플렉시블 디스플레이와 투명 디스플레이의 시장규모가 2013년 이후 급격하게 성장할 것으로 예측되는 바, 본 사업이 성공적인 수행 되어 핵심 IP를 확보하게 됨
잠재적/현재적 경쟁자와 그들이 갖고 있는 기술/제품 특성	<ul style="list-style-type: none"> 투명전자소자의 기술개발은 일본동경대의 호소노그룹과 미국 오레곤대학의 Wager 그룹에서 보유하고 있으나 단위소자 제작 단계의 초보적 수준임 투명 트랜지스터를 이용한 디스플레이 backplane 제조 기술은 토판 프린팅, 고치 대학에서 보유하고 있으며 아직 신뢰성과 안정성이 초기 개발 단계이며 투명성은 전혀 고려하지 않은 상태임