



서울대학교

# 보도자료

보도일시: 8월 1일(금) 조간부터 보도해주시기 바랍니다

	배 포 일	2014. 7. 30(수)	매 수	10
연구저 연구지원과	담당과장	이 선 희	배포부서	기획처 홍보팀 (880-5054, 9072)
	자료문의	융합과학기술대학원 김연상 교수(031-888-9131) 이응규 박사과정		

---

용액공정으로 제작되는 산화물 반도체 박막트랜지스터의  
전기적 성능을 규명하는 새로운 이론식을 개발

---

## □ 연구진

- 서울대학교 융합과학기술대학원, 차세대융합기술연구원 및 연세대학교 신소재공학부

## □ 내용 및 의의

- 용액공정기반으로 제작되는 투명 산화물 반도체는 유연한 투명 트랜지스터를 저가격으로 제작할 수 있기 때문에 매우 각광을 받고 있음.
- 특히, 산화물 반도체 기반 투명 박막트랜지스터(TFT)제작 기술은 차세대 모바일 디스플레이의 구동 및 스위칭 소자에 적용되는 핵심기술로, 다양한 차세대 모바일 기기의 핵심부품으로 사용될 가능성이 높음
- 이러한 측면에서 저전력으로 구동되는 산화물 반도체 박막트랜지스터(TFT)를 개발하는 것은 모바일기기의 효율적인 에너지소비 측면(장시간의 배터리사용시간)에서 매우 중요함
- 이에 본 연구진은 저 전력소비용 디스플레이 구동소자 개발을 위하여, 산화물 반도체 박막트랜지스터(TFT)의 전자이동도(구동전류와 직접적인 관계있는 소자성능 값), 구동전압 그리고 게이트 절연체 축전을 간의 상호관계에 관하여 이론과 실험을 병행하는 체계적인 연구를 수행하였음
- 특히 본 연구결과는 산/학 간의 긴밀한 협력연구의 성과로서 “LG 디스플레이”의 산학 연구지원사업을 통해, 차세대 디스플레이 구동소자로 관심을 두고 있는 산화물 반도체 트랜지스터의 특이적 성능 변화를 설명할 수 있는 이론식을 산업체의 요구에 따라 학계에서 개발하였다는 점에서, 산/학 협력연구결과로서의 의미가 남다름

- 재료과학분야의 권위지인 국제학술지 ‘Advanced Functional Materials (IF: 9.765, 재료과학분야 상위 5% 이내 우수저널)- 어드밴스드 펄서날 머트리얼즈’ 인터넷판에 이미 게재되었고, 인쇄본이 8월 1일(금) 출간 예정임.

#### □ 연구진 소개

- 서울대학교 융합과학기술대학원 : 이응규 (박사과정), 고지은 (박사과정), 임건희 (박사과정), 김경준 (박사과정), 박시윤 (박사과정), 김연상 (부교수)
- 차세대융합기술연구원 : 김연상 (친환경전자기술센터장, 서울대 융합과학기술대학원 부교수)
- 연세대학교 신소재공학부 : 명재민 교수

#### □ 연구비 지원 프로그램

- Academy-industry bilateral collaboration program of LG display, LG 디스플레이 산학연구 지원사업
- Korea Research Fund (NRF), 중견연구자 연구지원사업(도약과제)
- Center for Advanced Soft-Electronics Ministry of Science, ICT and Future Planning as Global Frontier Project, 미래창조과학부의 ‘차세대 소프트일렉트로닉스 연구단’

#### □ 관련사진(연구책임자 및 연구관련 사진)

-연구책임자



서울대학교 융합과학기술대학원 김연상 교수



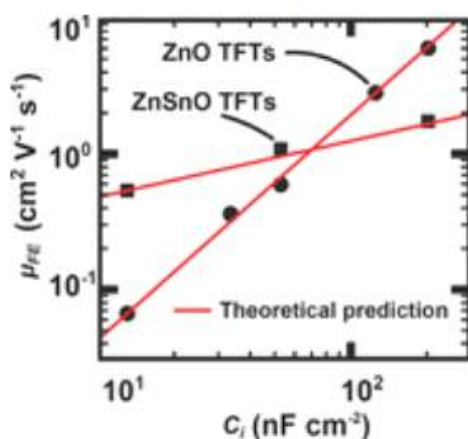
연세대학교 신소재공학부 명재민 교수

-연구관련사진

## Gate Capacitance-Dependent Field-Effect Mobility in Solution-Processed Oxide Semiconductor Thin-Film Transistors

Eungkyu Lee, Jieun Ko, Keon-Hee Lim, Kyongjun Kim, Si Yun Park, Jae M. Myoung, and Youn Sang Kim\*

Article first published online: 24 APR 2014 | DOI: 10.1002/adfm.201400588



**A relationship between gate capacitances ( $C_i$ ) and field-effect mobility ( $\mu_{FE}$ ) of solution-processed oxide semiconductor thin-film transistors is systematically analyzed. A simple analytic expression, describing how  $\mu_{FE}$  depends on  $C_i$  with a power law, is developed. The  $\mu_{FE}-C_i$  characteristics of solution-processed ZnO and ZnSnO thin-film transistors are clearly guided by the theoretical predictions.**

## [연구 설명자료]

### 차세대 디스플레이 구동소자인 “용액공정으로 제작되는 산화물 반도체 박막트랜지스터”의 전기적 성능 현상을 설명할 수 있는 새로운 이론식 개발

산화물 반도체는 가시광 영역에서 투명할 뿐만 아니라, 반도체특성이 우수하기 때문에 차세대 고성능 투명 박막트랜지스터(TFT)를 제작할 수 있는 매우 좋은 소재로 각광을 받고 있다. 특히, 반도체 박막을 만들 때 고가의 장비를 이용하는 진공공정이 아닌 상압용액 공정으로 제작할 수 있는 기법들이 개발되면서 경제성이 좋은 투명 박막트랜지스터(TFT)를 제작할 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 최근에는 저온에서 산화물 반도체 박막을 제작할 수 있는 용액공정법이 개발되면서, 유연한 플라스틱 기판을 사용하는 차세대 모바일 디스플레이의 스위칭 및 구동소자의 핵심소재로서 주목을 받고 있다.

한편, 차세대 모바일 기기에서 중요한 부분은 장시간의 배터리 사용시간이다. 배터리 사용시간을 결정하는 에너지 소비효율은 디스플레이의 구동전력과 밀접한 관련이 있고, 이러한 디스플레이의 스위칭 및 구동소자인 박막트랜지스터(TFT)의 소비전력과의 밀접한 관련이 있다. 따라서 저전압에서 구동되는 투명 박막트랜지스터(TFT)를 개발하는 것은 매우 중요하며, 디스플레이를 개발하는 연구자들은 저전압에서 구동되는 투명 박막트랜지스터 소자(TFT)를 제작하기 위하여 경험적으로, TFT 구성요소 중 게이트 인슐레이터(gate insulator)의 축전값을 증가시키는 방법을 사용하였다.

하지만, 이러한 경험적 방법은 기존에 박막트랜지스터(TFT)에 적용되던, 결정성 실리콘(Si) 기반의 트랜지스터이론에서 비롯된 것이며, 결정성이 거의 없는 산화물 반도체 기반의 박막트랜지스터(TFT) 성능이론을 설명하기에는 부족한 실정이다. 또한, 그 중요성에도 불구하고 현재까지 용액공정으로 제작되는 투명 산화물 반도체 박막트랜지스터(TFT)의 분야에서 구동전압과 게이트 절연체(gate insulator)의 축전값, 그리고 TFT 소자 성능간의 상호관계에 대한 체계적인 연구는 미비한 실정이다. 이는 향후 산화물 반도체 기반의 박막트랜지스터(TFT)의 산업적 적용에 있어서, 안정적인 소자성능 구현을 위한 최적화 공정개발을 위한 이론적인 바탕이 부실함을 의미하며, 고성능 산화물 반도체 TFT 소자 구현을 위한 공정변수를 파악하는데 어려움을 겪을 수 있음을 보여준다.

이에, 서울대학교 융합과학기술대학원 김연상 교수 연구팀과 연세대학교 신소재공학부의 명재민 교수 연구팀은 용액공정으로 제작되는 투명 산화물 반도체 TFT 소자의 게이트 절연체 (gate insulator)의 축전값과 구동전압 그리고, TFT 소자의 성능을 나타내는 전자 이동도사이의 관계를, 산화물 반도체만의 고유특성에 대한 체계적 이론적 고찰을 통해, 간단한 도식으로 도출하였다. 또한, 다양한 조건에서의 제작된 산화물 반도체 TFT 소자들의 성능변화를 통해, 개발된 이론을 검증하여 확립하였다.

구체적으로 연구팀은 용액공정으로 산화아연(ZnO) 반도체 및 산화아연주석(ZnSnO) 반도체 기반의 박막트랜지스터(TFT)를 제작하였고, 각 트랜지스터에서 게이트 절연체 (gate insulator)/산화물 반도체의 계면을 동일하게 하면서 절연체의 두께를 조절하여 게이트 절연체 (gate insulator) 축전값의 변화에 따른 산화물 반도체 박막트랜지스터(TFT)의 성능(전자이동도)의 변화를 관찰하였다. 고유한 투명 산화물 반도체의 특성을 바탕으로 하여, 기존의 실리콘 반도체 기반 트랜지스터의 이론과는 다른, 새로운 투명 산화물 반도체기반 박막트랜지스터(TFT)의 게이트 절연체 (gate insulator) 축전값과 구동전압 그리고 소자의 성능의 상관관계를 설명하는 이론식을 도출하였으며, 다양한 조건에서의 투명 산화물 반도체 박막트랜지스터(TFT)를 제작하여, 측정된 게이트 절연체 (gate insulator) 축전값과 성능(전자이동도)사이의 특성이 새로이 도출된 이론과 잘 일치함을 확인하였다. 추가적으로, 연구팀은 게이트 절연체 (gate insulator)/ 산화물 반도체 계면이 박막트랜지스터(TFT)의 소자성능에 어떠한 영향을 주는가에 대한 연구도 수행하였다.

이번 연구에 대하여 김연상 교수는 “도출된 이론식은 산화물 반도체기반의 박막트랜지스터(TFT)에서 직관적으로 게이트 절연체 (gate insulator) 축전값과 TFT 성능(전자이동도), 그리고 TFT 소자 구동전압의 상관관계를 알려주는 확실한 도구로 사용될 수 있다”고 평가했다. 본 연구에 의해서 도출된 이론식에 의하면, 저 전력에서 고성능으로 구동되는 투명 산화물 반도체 박막트랜지스터(TFT)를 산업적으로 현실화하기 위해서는, 산화물 반도체의 고유물성에 대한 연구의 중요성만큼이나, 박막트랜지스터(TFT)를 구성하는 게이트 절연체(gate insulator)와 절연체/반도체 계면에 대한 연구가 매우 중요함을 이론적으로 잘 보여주고 있다. 이러한 연구결과는 고성능 투명산화물 박막트랜지스터(TFT)의 최적화 공정을 충실히 설계하고, 이의 산업적 적용의 확대를 도모 하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 예상된다.

또한, 본 연구결과는 산/학 간의 긴밀한 협력연구의 성과로서, LG Display의 산학연구 지원사업(연세대학교/LG Display 산학협력센터(센터장: 연세대학교 명재민 교수)을 통해,

Display 산업계에서 주목하는 차세대 디스플레이 구동소자를 위한 산화물 반도체 박막트랜지스터(TFT)의 특이적 성능 변화를 설명할 수 있는 이론식을 산/학 간의 상호협력 연구를 통해 개발하였다는 데에 의미가 남다르다.

산/학 간의 협력연구 프로그램을 바탕으로, 기초기반기술 연구에 강점을 갖는 대학의 연구진이 다양한 공정변수에 대한 최적화 기술을 갖고 있는 산업체의 경험기술(knowhow)에 대한 고찰을 통해, 차세대 디스플레이의 스위칭 및 구동소자로 주목받고 있는 투명 산화물 반도체 박막트랜지스터(TFT)의 특이적 성능변화를 잘 설명할 수 있는 이론을 개발하였다.

이번 연구는 LG Display의 산/학 연구지원사업, 한국연구재단의 ‘중견연구자 연구지원사업(도약과제)’ 그리고 미래창조과학부의 ‘차세대 소프트일렉트로닉스 연구단’의 지원을 받아서 진행되었다.

본 연구는 재료과학분야의 권위 있는 국제학술지인 ‘어드밴스드 펑셔널 머트리얼즈(Advanced Functional Materials)’ 8월 1일(금)자 판에 게재되었다.

관련 자료

Gate capacitance-dependent field-effect mobility  
in solution-processed oxide semiconductor  
thin-film transistors

2014. 8. 1

서울대학교

Title: Gate capacitance-dependent field-effect mobility in solution-processed oxide semiconductor thin-film transistors

## 1. 연구 배경 및 현황

용액공정으로 제작되는 투명 산화물 반도체는 저가격으로 투명 트랜지스터를 제작할 수 있는 장점을 갖고 있어서 차세대 소재로 각광을 받고 있다. 특히, 용액공정으로 제작되는 특징은 고가의 진공 박막 제작 장치를 요구하지 않으며, 저가의 잉크젯 및 Roll-to-Roll 프린팅기법을 사용하여 대량으로 소자를 제작할 수 있는 이점을 제공한다. 최근에는 저온에서 고성능의 산화물반도체 박막을 제작하는 용액공정기술들이 개발되면서 유연한 기판에 투명트랜지스터를 제작하여 유연한 차세대 모바일 전자기기의 제작이 보다 앞당겨지고 있다.

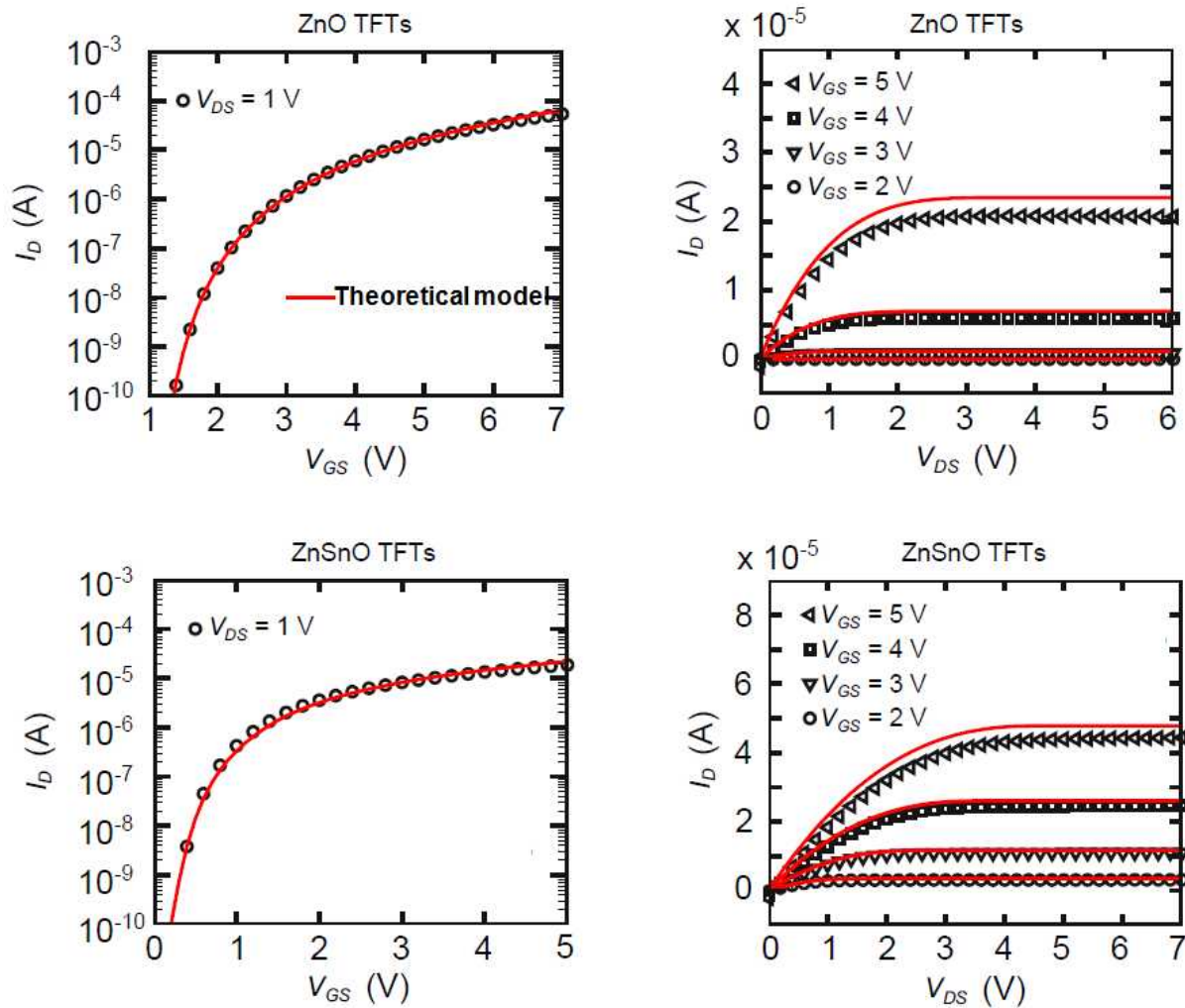
한편, 박막제작의 측면에서는 저온 용액공정기술의 개발, 플라스틱 기판에의 박막제작기술 개발 등이 활발하게 연구되고 있지만, 트랜지스터 소자의 성능 최적화와 저전압에서 구동되는 소자의 연구에 대해서는 체계적으로 연구가 진행되고 있지 않고 있다. 저전압에서 구동되는 소자는 차세대 모바일 기기의 장시간 사용과 효율적인 에너지사용 측면에서 매우 중요하다. 현재까지 이 분야의 연구자들은 경험적으로 metal-oxide-semiconductor field-effect transistors (MOSFETs)에서 사용되던 이론을 바탕으로 저 전압에서 구동되는 소자를 제작하고 있다(게이트 축전값과 구동전류의 값이 비례한다는 관계식). 하지만, 용액공정으로 제작되는 산화물 반도체의 결정성은 매우 적거나 없으며, 결정성이 거의 없는 반도체로 제작된 트랜지스터 소자의 특성은 MOSFET의 특성과 다르다는 것이 연구자들에 의하여 규명되고 있다. 이러한 측면에서, 용액공정으로 제작된 산화물 반도체 기반의 박막트랜지스터의 특성을 잘 설명하는 이론적 모델을 정립하고, 구동 전압과 전하이동도, 그리고 게이트 축전율 간의 상호관계를 잘 이해하는 것은 매우 중요하다고 볼 수 있다.

## 2. 연구 내용 및 결과

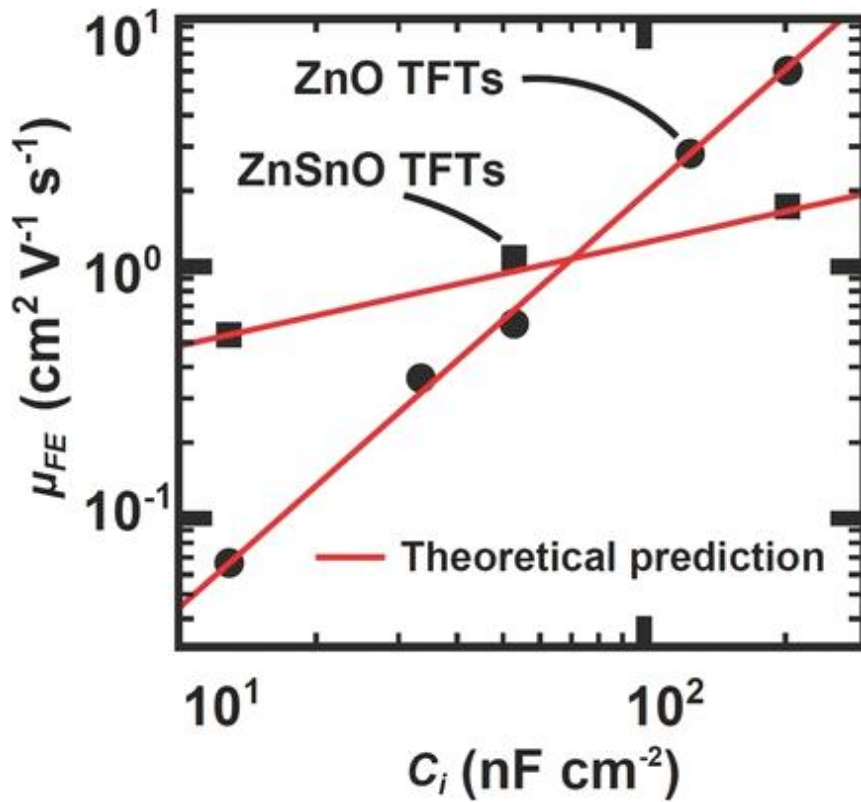
본 연구진은 용액공정으로 제작되는 산화물 반도체 박막 트랜지스터의 게이트 축전율과 전하이동도간의 상호관계에 대하여 체계적인 연구를 진행하였다. 용액공정으로 제작된 산



화물 반도체 박막 트랜지스터의 특성을 잘 설명하는 이론적 모델을 정립하였다. 이론적 모델에서 나노결정성을 갖는 산화물 반도체의 전자전도도는 multiple-trapping-and-release 이론을 사용하였고, 결정성이 없는 산화물 반도체의 전자전도도는 variable-range-hopping percolation 이론을 사용하였다. 정립된 모델은 실험적으로 제작된 산화아연(ZnO)박막 트랜지스터와 산화주석아연(ZnSnO)박막 트랜지스터를 통하여 증명되었다. 그리고 이론적 모델을 바탕으로 트랜지스터소자의 전자이동도와 게이트 축전율간의 관계를 나타내는 간단한 식을 도출하였다. 실험적으로 측정된 소자의 전자이동도와 게이트 축전율간의 특성 그래프는 도출된 이론식의 예측값과 잘 일치함을 확인하였다.



<측정된 산화아연 및 산화주석아연 트랜지스터의 성능곡선 (도형), 적색실선은 정립된 이론모델로 실험값을 비교한 결과를 나타낸다>



<산화아연 및 산화주석아연 트랜지스터의 성능(전자이동도)과 게이트 절연체(gate insulator) 측 전값 간의 상관관계 그래프: 도형은 실험값을 나타내며 적색실선은 이론적 예측을 나타낸다>

### 3. 연구 성과 및 향후 계획

-본 연구진의 연구결과는 'Advanced Functional Materials' 저널에 2014년 8월 1일자 판으로 출판되었음.

-본 연구진은 이 연구결과를 바탕으로 고성능, 저전압에서 구동되는 투명 산화물반도체 박막트랜지스터(TFT) 소자의 최적화 소재 및 공정변수에 대한 연구를 진행할 계획이다.