

기술 특 집

# 인쇄전자소자 및 디스플레이용 잉크소재 기술개발 동향

문 주 호 (연세대학교 신소재공학과 잉크젯프린팅 응용기술 국가지정연구실)

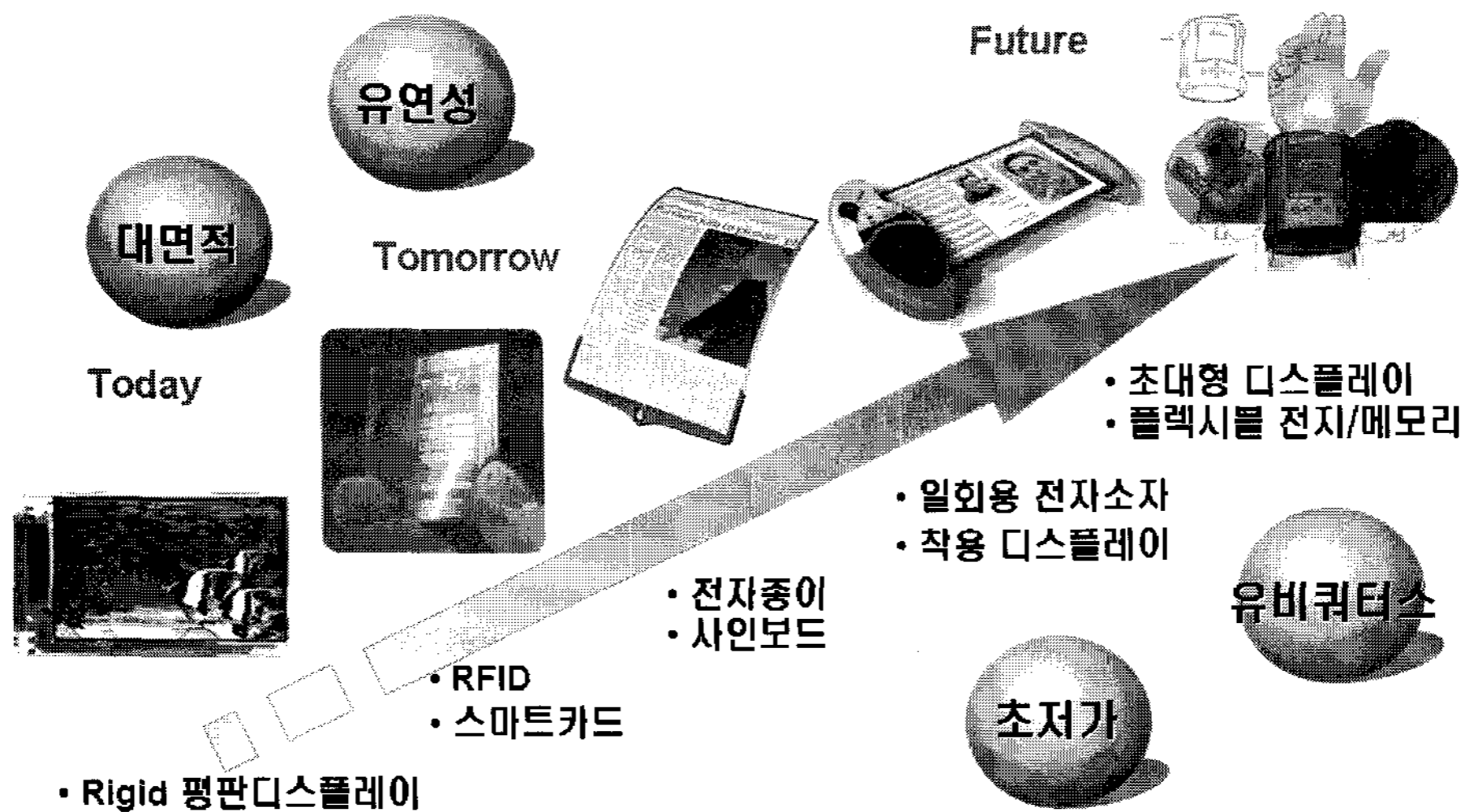
## I. 개 요

차세대 정보 전자소자 및 디스플레이는 기존의 딱딱한 실리콘 또는 유리 기판이 아닌 유연성 플라스틱 필름을 사용하여 가볍고, 얇고, 충격에도 강한 플렉시블(Flexible) 소자 형태로 진화되어 현재의 정형적인 소자의 형태 및 기능이 획기적으로 진보되어 언제 어디서든 정보를 교환할 수 있는 인텔리젼트 기능이 부여되리라 예상된다. 또한 전자소자 및 제품의 개념이 기존의 반도체 메모리 소자에서 요구되었던 고집적화, 초소형화 대신 초대형화, 저가격화 형태로 전환되어 일회용(Disposable) 디스플레이, Wall-to-Wall 초대형 디스플레이 및 조명, 전자종이(E-Paper), 대면적/초저가 센서, 플렉시블 RFID Tag/Smart Card, 유기태양전지, 기능성 직물(Electrotexiles, Display on Textiles) 등 미세 전자소자가 아닌 거대전자소자(Macroelectronics)라는 새로운 개념의 첨단 정보/전자 디스플레이 소자의 출현이 기대되고 있다[그림 1].

이러한 차세대 정보/전자소자 및 디스플레이 제작에는 유

기 또는 무기 소재로 구성된 단위 소자가 고집적 될 수 있도록 마이크론 스케일의 패터닝 기술이 필요하게 된다. 현재의 미세 패터닝 제작 기술에는 진공 증착과 노광-식각 공정을 기반으로 하는 광학적 패터닝(Photolithography) 방법이 사용되고 있으나, 유기물 소재에는 적용하기 용이하지 않으며, 패터닝 구현이 딱딱한 평면기판으로만 국한되어 플렉시블 기판 위에서는 불가능하다는 문제점이 있다. 더욱이 고가 장비의 사용으로 원가 상승이라는 단점으로 차세대 플렉시블 정보/전자 소자 및 시스템 제작에는 새로운 개념에 의한 공정과 이에 적합한 소재 개발이 절실하게 요구되고 있다.

근래에 들어 다양한 형태의 비광학적 미세패터닝 형성기술이 개발되어, 패터닝 방식에는 Soft Lithography, Screen Printing, Gravure/Flexo Printing, Nano Imprinting 기법이 연구되고 있고, 직접 묘화(Direct-Writing) 방식으로 Ink-Jet Printing, Direct Laser Writing, Dip-Pen Nano-Lithography 등이 있다. 특히 고온, 고진공, 고가의 박막증착 장비 대신에 유기분자, 공액 고분자, 나노입자 등을 포함하는 액상 소재를 다룰 수 있는 공정으로, 대량생산



[그림 1] 정보/전자 소자 및 디스플레이 발전 동향

을 위하여 Roll-to-Roll 방식으로 제조되어 소자의 대형화, 다기능화, 저가격화가 가능한 첨단 인쇄법이 적용된 “인쇄전자소자 및 디스플레이”(Printed Electronics and Display) 개념이 대두되고 있고, 그 가운데 실질적인 대량생산 공정으로 적용될 수 있을 만큼의 경제성, 효율성, 신뢰성을 갖고 있는 대표적 기술로 잉크젯 프린팅 기술이 주목받고 있다. 본 기고문에서는 차세대 정보/전자소자 및 디스플레이를 첨단인쇄법으로 제조하는데 필수적인 원천소재인 기능성 잉크 측면에서 요구물성과 최근 연구동향을 소개하고자 한다.

## II. 잉크젯 프린팅 기술의 개요

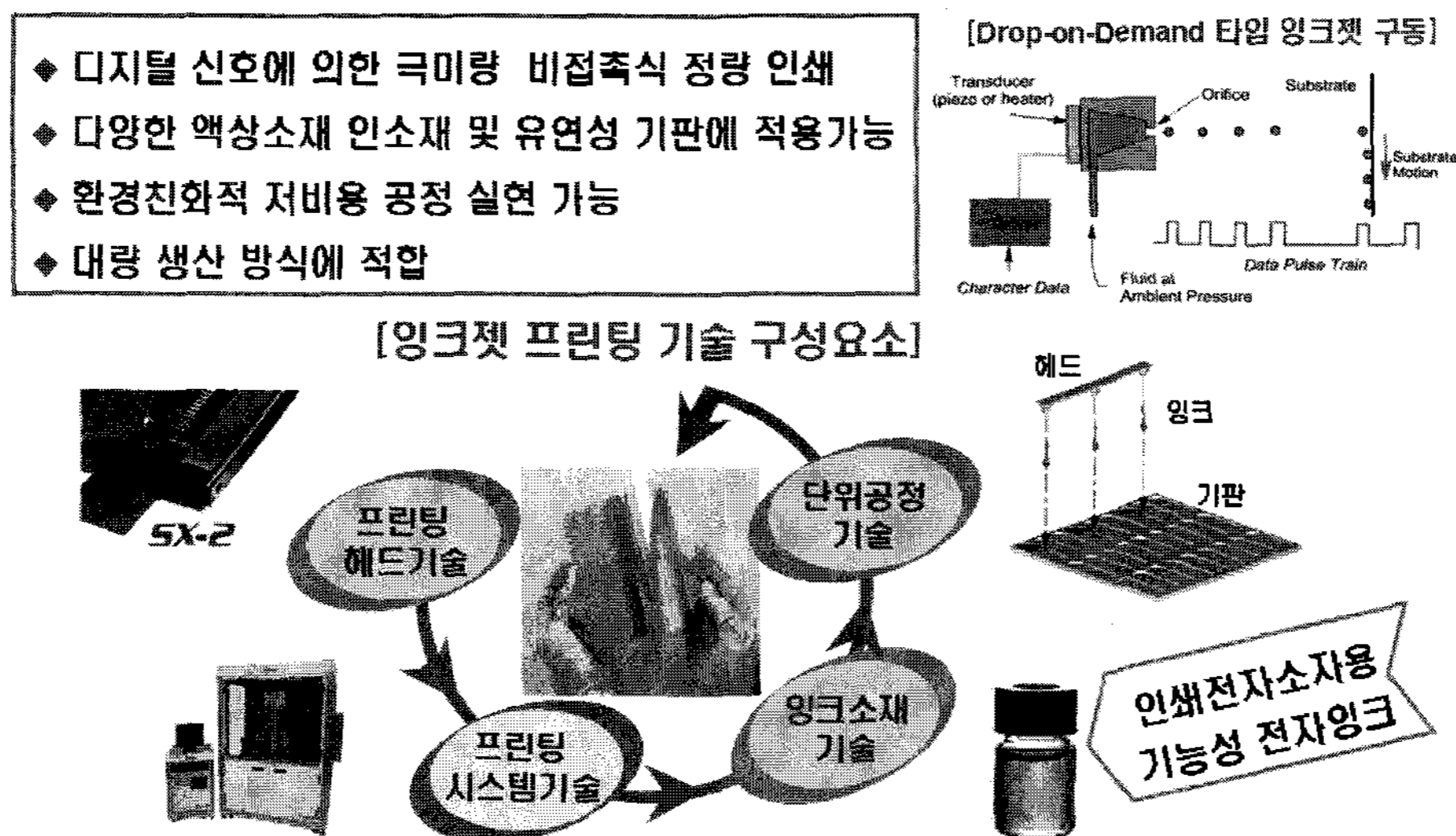
잉크젯 프린팅 기술은 퍼스널 컴퓨터(PC)의 문서출력용 프린터 목적으로 개발된 기술로, 기존의 고소음 충격식 접촉 인쇄방식의 Dot Matrix 프린터 이후에 혁신적인 전환을 가져온 인쇄기술로, 프린터 헤드 내의 노즐을 통하여 잉크 형태의 유체를 미세 액적 형상으로 고속 분사하여 기판에 이미지를 형성하는 기술이다. 극미량의 유체가 디지털 신호에 의하여 원하는 시점과 공간 위에 분사되어지기 때문에 컴퓨터의 가상공간에서 디자인 된 다양한 형상을 자유롭게 직접 묘화(Direct-Write)할 수 있는 장점을 갖고 있으며, 또한 유체의 인쇄방식이 기판으로부터 비 접촉방식으로 증착되기 때문에 종이를 비롯하여 직물, 금속, 세라믹, 폴리머 등 다양한 기판 위에 자유로운 형상을 인쇄할 수 있고 수 십  $\mu\text{m}$  크기부터 수 평방미터 이상의 대면적까지 인쇄가 가능하다. 특히 원하는 곳에 필요한 물질을 패턴링 할 수 있는 소위 패턴 온 디맨드(Pattern on Demand) 공정이 가능하므로 극히 단순한 공정으로 미세패턴을 제작할 수 있으며, 이에 따라 고가의 재료 이용 효율이 100%에 가깝고, 폐기물이 없는 친환경 공정 실현이 가능하며, 고가의 진공장비가 소요되지 않아 비용 절감에 따른 제품 가격 경쟁력 창출에 매우 효과적이다.

잉크젯 프린팅 공법을 사용하여 정보/전자 소자를 제작하기 위한 핵심기술은 [그림 2]에 도시한 것과 같이 고정밀 프린팅 헤드 기술, 프린팅 시스템 장비 기술, 잉크 소재 기술, 그리고 공정기술로 분류될 수 있다. 고정밀 프린팅 헤드는 주로 압전 구동방식의 노즐이 사용되고 있고 Fujifilm-Dimatix사 Spectra 제품이 가장 높은 시장 점유율을 차지하고 있다. 프린팅 시스템 장비는 적용 목적에 따라 다양한 정밀도와 시스템 사양이 요구되어, 카트리지 방식의 헤드를 채용한 비교적 저가 모델인 Desktop Ink-Jet Printer에서부터 시제품 제작용으로 특수 설계 제작된 산업용 고정밀 장비가 사용되고 있다. 잉크젯 프린팅 시스템이 갖추어진 후에는 소자를 구현하기 위한 잉크재료와 이를 구현할 수 있는 공정기술이 필요하게 된다.

## III. 잉크젯 프린팅용 잉크소재 기술

잉크젯 프린팅의 공정 단계는 잉크 조제, 잉크 분사, 잉크의 기판 증착, 용매의 건조, 패턴구현의 순으로 진행된다. 물질 증착 기본 단위가 프린팅 헤드를 통하여 수 kHz의 간격으로 생성된 10~100pl의 미세 액적으로, 각각의 액적은 부피 차, 낙하속도 차, 궤적 차 없이 균일하게 형성되어야 하며, 이를 비접촉 방식으로 기판 위로 원하는 위치에 정확히 증착시켜야 한다. 기판에 증착된 액적은 계면에너지 특성에 따라 퍼지는 정도가 달라지고 각각의 액적이 모여져 점/선/면을 구성하고, 액적 내에 포함된 용매가 건조되어 용해 또는 분산된 기능성 소재가 기판에 증착되어 원하는 형태의 패턴이 구현된다. 이때 패턴의 해상도/정확도는 프린터 헤드 및 헤드 모션 제어 성능에 따라 좌우되며, 특히 잉크 물성, 분사 특성, 기판 재질, 건조 조건에 의하여 영향을 받는다.

잉크젯 분사 특성은 잉크 내 고용량, 용매 종류, 분산성, 유변(Rheology) 특성, 표면장력 등 잉크의 물리 화학적 특성에 의해 좌우되며, 동시에 잉크 물성은 기판과의 상호 작



[그림 2] 잉크젯 프린팅 기술의 특징과 구성요소

용을 결정하고, 용매의 건조 속도, 건조 후 증착된 용질의 공간적 분포에 영향을 미친다. 따라서 이러한 잉크젯 프린팅 공정의 복잡한 상관관계를 과학적으로 이해하여 분사 특성이 우수한 기능성 잉크소재를 조제하고 공정변수를 최적화해야만 고기능성 정보전자 소자를 구현할 수 있으며, 단순히 기존 공정에 적용되고 있는 구성 요소를 액상 소재화해서는 불가능하다고 할 수 있다.

잉크로써 요구되는 물성으로는 노즐의 막힘 현상 없이 안정적으로 프린팅 될 수 있도록 높은 분산 안정성과 적당한 유체특성(점도와 표면장력)을 갖추어야 한다. 잉크의 젯팅성을 예측하기 위해서는 노즐 내에서 잉크의 거동을 원통형관 내부에서의 유체의 흐름으로 단순화시킬 수 있으며 이를 무차원 수인 레이놀드 수(Reynolds number,  $N_{Re}$ )와 웨버 수(Weber number,  $N_{We}$ )의 조합인 오네소지 수(Ohnesorge number,  $Z$ )를 통하여 설명할 수 있다. 레이놀드 수는 유체가 유동할 때 흐름의 형태를 결정하는 요인으로 관경, 액체의 점도, 밀도, 평균유속에 따라 좌우되는 무차원수로 다음과 같이 정의된다.

$$N_{Re} = \frac{va\rho}{\eta}$$

여기서 유체의 점도를  $\eta$ , 밀도를  $\rho$ , 유속을  $v$ , 물체의 모양을 정하는 길이  $a$ , 즉 노즐의 구경으로 표현된다. 웨버 수는 유체요소에 작용하는 표면장력에 대한 관성력의 지표로 경계면이 존재하는 유체의 흐름을 분석하기에 유용한 무차원수이며 다음과 같이 정의될 수 있다.

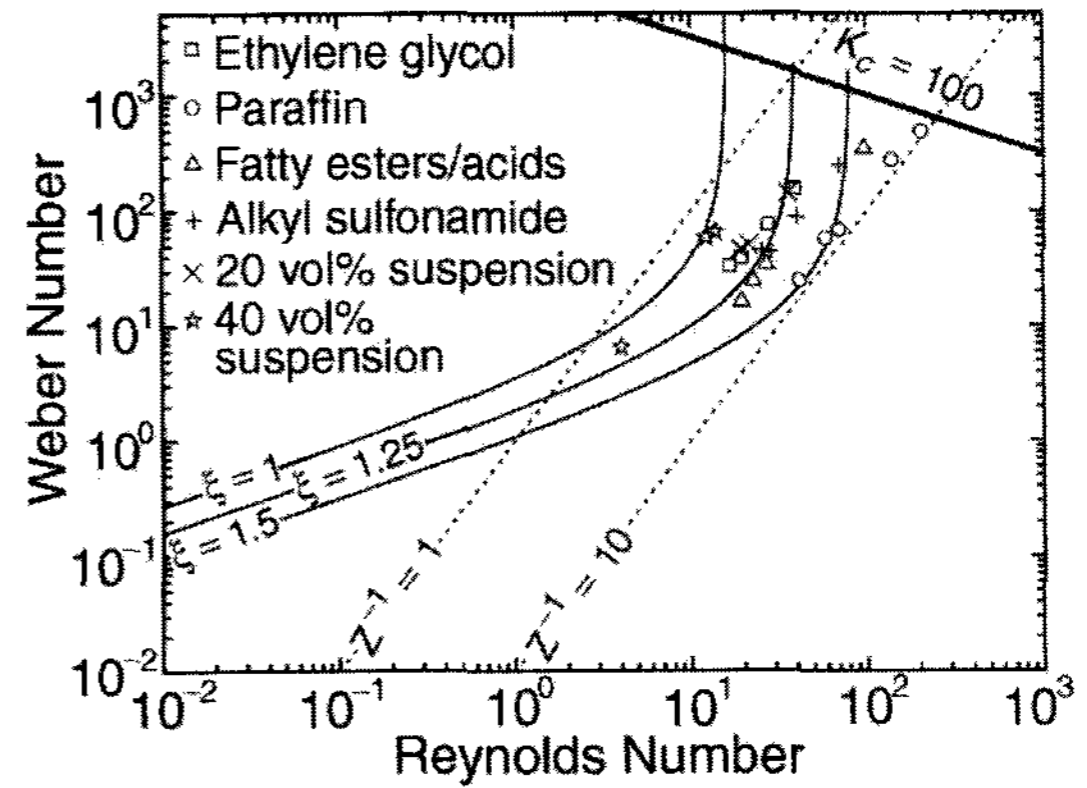
$$N_{We} = \frac{v^2 a \rho}{\gamma}$$

레이놀드 수와 웨버 수의 조합으로 표현될 수 있는 오네소지 수 또한 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\frac{(\gamma \rho a)^{1/2}}{\eta} = Z^{-1} = \frac{N_{Re}}{(N_{We})^{1/2}}$$

일반적으로 오네소지 수의 역수 값이 1보다 작을 때는 점도가 지배적인 요소가 되어 액적의 토출을 위해 큰 압력이 필요하게 되며 노즐 계면에서 액적을 형성하기가 어려워진다. 반면 10 이상의 큰 값을 가지게 되면 액적 형성 이전에 노즐 계면에서 늘어진 형상의 계면을 형성하게 되어 이는 분사 후에 해상도를 저해시키는 Satellites를 형성하는 원인이 된다. 따라서 안정적 젯팅이 되기 위해서는 오네소지 수의 역수 값이  $1 < Z^{-1} < 10$  범위이어야 하며 실험적 결과와도 비교적 잘 일치하는 것으로 보고되고 있다[그림 3].

잉크를 구성하는 액티브(Active) 소재 측면에서는 전자소자를 구성하기 위한 전도성, 절연성, 저항성, 반도체성, 전기발광성 등의 다양한 기능성 소재가 필요하여 이를 유기분자/고분자, 유기/무기 입자 형태로 제조하고 용매에 분산시켜 안정되게 잉크젯 분사가 가능한 저점도 콜로이드 용액으로 조제하여야 한다. 특히 플렉시블 기판에서 저온 공정이 되기 위해선 나노입자합성, 계면특성 제어, 혼성화 등의 나노기술이 접목된 연구 개발이 수행되어야 한다. 다음에는 인



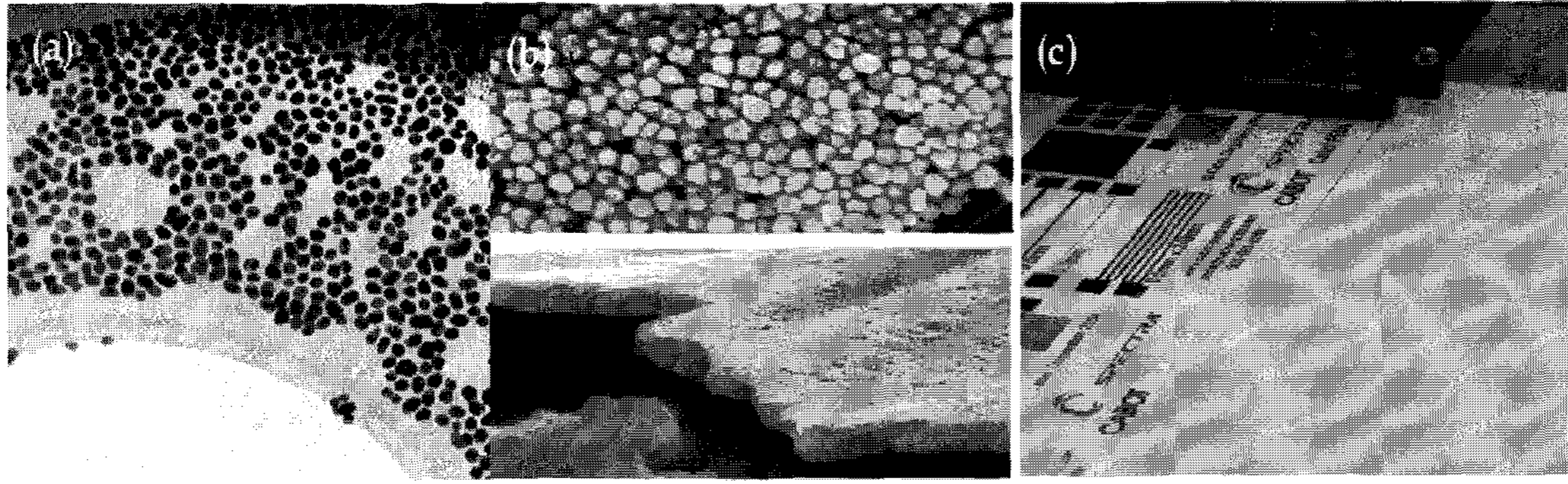
[그림 3] 안정한 잉크젯 프린팅이 가능한 유체의 물성을 나타내는 시뮬레이션 값과 실험 결과. 오네소지 수의 역수 값이  $1 < Z^{-1} < 10$  범위의 유체는 안정한 젯팅 특성이 관찰됨.

쇄전자 소자 및 디스플레이 분야에서 요구되는 기능성 잉크소재를 전도성 잉크와 기타 잉크로 구분하여 최근 연구동향을 기술하고자 한다.

## 1. 전도성 잉크 개발 동향

잉크젯 프린팅 기술을 통하여 전기가 통할 수 있는 전도성 패턴을 구현할 수 있는 소재로 다양한 소재/부품에 적용가능하다. 사용되는 잉크로는 프린팅/건조/저온 열처리를 통하여 우수한 전도성을 발현시킬 수 있는 소재가 요구된다. 전도성 잉크로는 무기물 기반으로는 CNT와 금속 소재를 바탕으로 한 것과 유기물 기반으로는 PEDOT/PSS, Polyaniline, Poly(p-phenylenevinylene) 등을 함유한 잉크로 구분될 수 있다. 유기물 기반 잉크는 유기박막 트랜지스터(OTFT), OLED, 유기태양전지 등과 같은 유연성 전자소자로 많이 응용되고 있다. 용액공정 용이성 및 타 유기소재와의 적합성(Compatibility) 문제가 없어 전하주입이 용이하여 접촉저항을 줄일 수 있기 때문에 선호되고 있지만 전도도는  $0.1\text{S/cm}$  정도로 진공 증착된 Au가  $2.0 \times 10^5\text{S/cm}$ 로 무기 금속재료에 비교해서 상당히 떨어지는 단점이 있다. 또한 전도도 물성이 작동환경에서 장기 안정성을 갖지 못하기 때문에 고속 스위칭이 필요한 대면적 디스플레이 구동용 TFT Backplane 제조에 사용하기에는 한계점을 갖고 있다.

무기소재 기반 전도성 잉크로는 은 나노 콜로이드 잉크가 주로 사용되고 있다. 미국 Cabot-PEDs사와 CimaTech사, 일본 Harima 화성 등이 중심이 되어 상용 잉크를 2004년도부터 개발하여 공급하고 있으며 대략적으로 50nm 이하의 크기 갖는 Ag 입자를 30-60wt% 함유한 비수계 용매 기반이 주를 이루며 Spectra 프린팅 헤드를 사용하여 약  $40\mu\text{m}$ 의 선폭을 갖는 전도성 패턴을 구현할 수 있고 약 150도 정도에서 열처리하여  $3-10\mu\Omega \cdot \text{cm}$  정도의 비저항을 발현할 수 있다[그림 4]. 국내에서는 전도성 잉크의 잉크젯 프린팅 기술을 적용하여 LCD Gate 전극, PDP Address 및 Bus



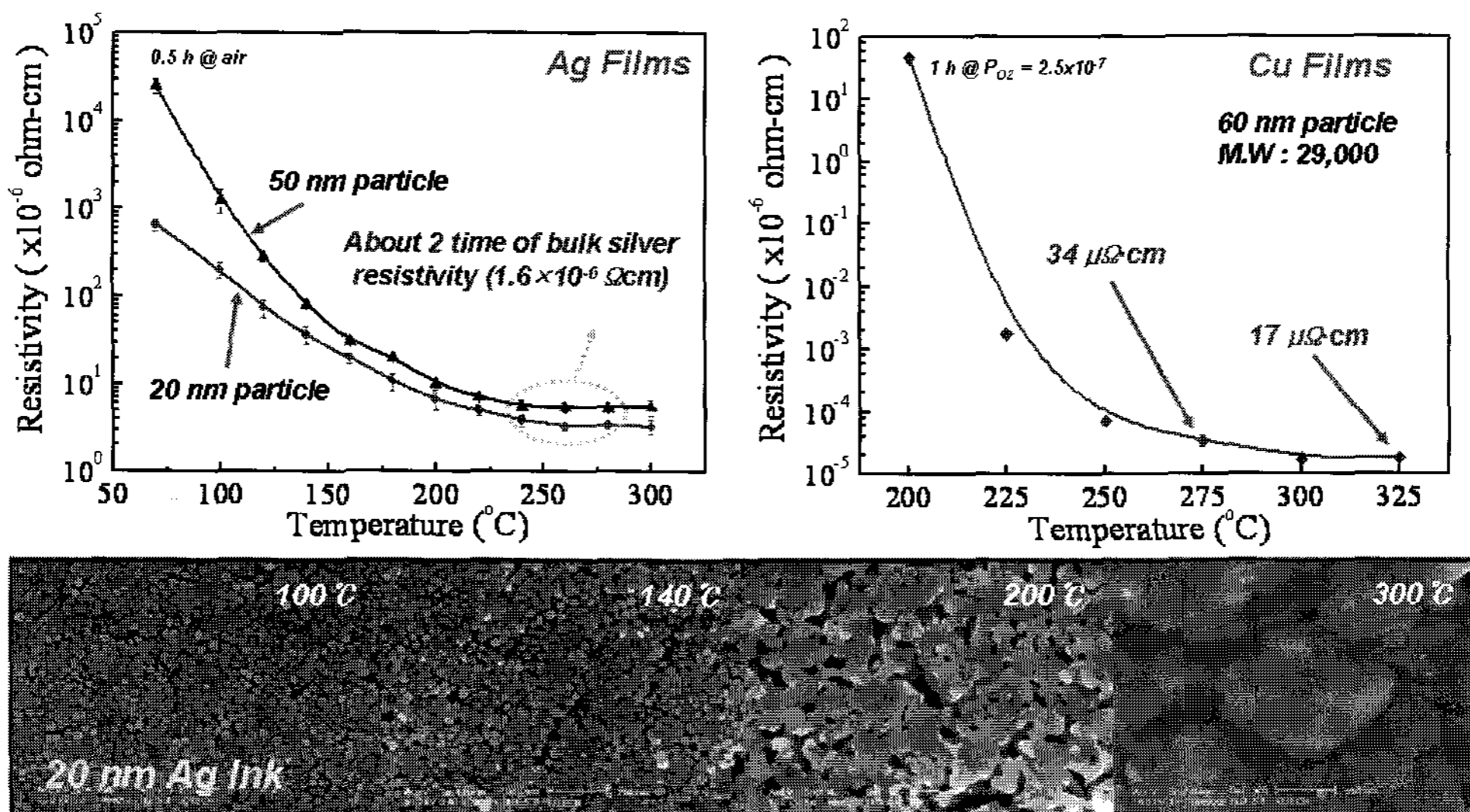
[그림 4] 상용 전도성 Ag 잉크: (a) Harima 화성 잉크; (b) Cabot-PEDs 잉크 및 열처리 후 미세구조; (c) Spectra 헤드를 통하여 프린팅 되는 모습

전극제작 등 정보 디스플레이/전자 부품 제작으로의 응용을 삼성전자, 삼성SDI, LG전자, LG Philips 등 대기업들을 중심으로 2003년경 부터 시작되었으며, 다층형 Embedded PCB와 FPCB 분야의 적용을 위해 삼성전기, 두산전자 등이 기반기술을 연구 중에 있다. 전도성 잉크소재는 잉크테크, 창성, 대주전자재료, 석경에이아티, 동진세미켐 등의 기존 전자/디스플레이 전자재료 회사들이 적극적으로 새로운 잉크 소재 개발에 앞장서고 있다.

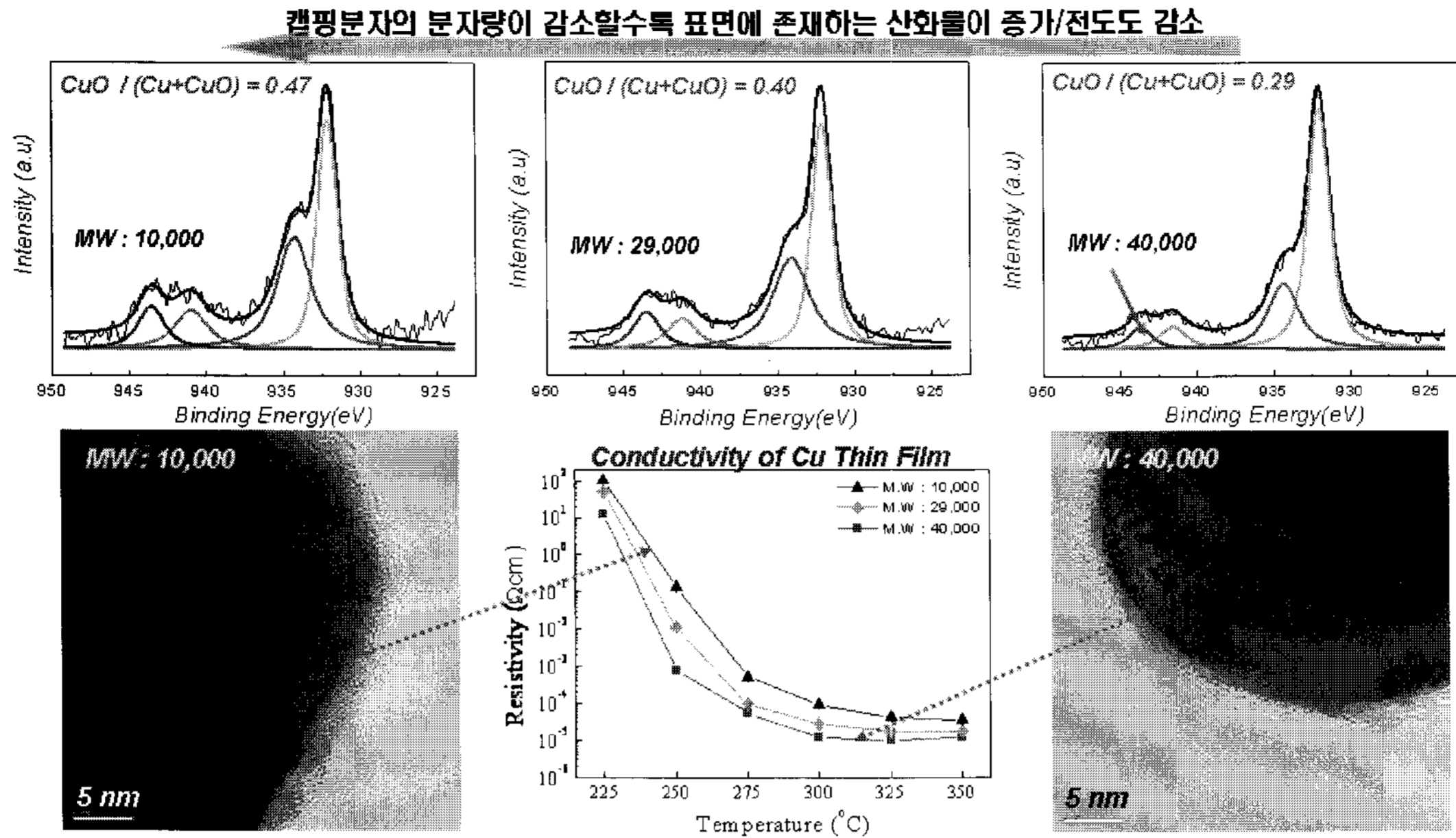
Ag가 현재까지 주된 전도성 소재로 사용될 수 있는 원인은 습식 또는 건식 방법으로 나노입자 합성이 비교적 용이하다는 점과 산화안정성이 우수하여 표면 산화가 일어나지 않는다는 장점 때문이다. 하지만 점차 다양해지는 인쇄 전자 소자 및 디스플레이에 적용하기 위해서는 다양한 소재 기반의 전도성 잉크가 요구되고 있으며 금, 은에 비하여 비교적 저렴하고 Electromigration 문제가 적은 소재인 Cu, Ni 기반 전도성 잉크와 탄소나노튜브 및 ITO 기반 투명 전도성 잉크가 주목받고 있다. 특히 대기 중 열역학적 산화안정성이 떨어지는 소재인 구리의 경우는 많은 연구 개발이 필요한 분야이다. Cu는 대기 중에서 쉽게 산화되게 되고 표면

산화된 구리는 순수한 구리에 비하여 전도도가 떨어지며 입자간 소결 온도가 상승되기 때문에 이를 최소화 하면서 나노입자로 합성하기 위해서는 주로 공기를 배제한 상태에서 합성된다. 본 연구팀에서는 2004년부터 은 나노 기반 전도성 잉크에 관련된 연구개발을 시작하여 전도성 잉크 조성에 관한 국내외 특허를 출원/등록 하였으며 최근에는 대기 중에서도 구리의 표면 산화를 최소화 시키면서도 분산성이 우수한 구리 나노입자 합성법을 개발하여 이를 사용하여 구리 전도성 잉크 개발에 성공하였다. 표면산화 특성을 제어하기 위하여 Capping Molecules의 선정 및 이를 통한 표면개질 기술이 중요한 핵심 내용이 된다. 캡핑용 유기물은 표면산화 억제력도 우수해야 하고 동시에 잉크 용매에 금속 나노입자의 분산 안정성을 부여하며 건조 후 열처리 과정 중 저온 휘발성이 용이해 잔류 유기물로 인한 전도성 저하를 유발시키지 않아야 하는 측면에서 정밀한 제어가 요구되는 핵심기술 분야라고 할 수 있다[그림 5, 6].

전도성 잉크와 관련 또 다른 핵심 분야로는 증착된 소재와 다르게 상온에서 인쇄를 하고 건조/열처리하여 얻어진 금속 나노입자로 구현된 Granular 필름 타입의 전도성 피



[그림 5] 은/구리 나노기반 잉크로부터 구현된 전도성 피막의 전도도 및 미세구조 변화



[그림 6] 캡팅 유기물의 분자량에 따른 표면 산화막 두께 차이 및 구리피막의 전도도 변화

막에 대한 보다 심도 있는 연구가 필요하다. 막의 균일성 및 다양한 기판과의 접착력, 시간에 따른 미세구조 변화, 전극/유전체 또는 전극/반도체의 이종 계면 적합성 등 신뢰성에 관련된 검증이 선결되어야 할 필요가 있다.

## 2. 기타 잉크 개발 동향

잉크젯 프린팅에 적용 가능한 반도체 소재로는 폴리티오펜 (Poly-3-alkylthiophene, P3AT), 티오펜 올리고머 (Oligomer) 등의 유기물이 주로 개발되고 있다. 그동안 펜타센 (Pentacene)은 주로 진공증착을 통하여 성막 하였으나 최근에는 화학구조를 변화시켜 용해도를 향상시킨 형태의 Soluble 펜타센 소재도 보고되고 있다. 트랜지스터 성능 측면에서는 a-Si:H 기반 무기재료 반도체에 근접하는 물성을 보이고 있지만 대기와 접촉 시 산화되는 문제점으로 Encapsulation 공정이 추가적으로 요구되거나 공기 중이 아닌 비활성 분위기에서 프린팅 할 수 밖에 없는 한계점을 지니고 있다. 따라서 고 이동도를 갖는 내산화성 유기 반도체 또는 Si, ZnO 등의 무기물 기반 반도체 소재를 나노물질 형태로 합성하여 잉크젯 프린팅 공정이 가능하도록 조제한 신소재 개발이 필요하다. 최근 들어 영국 Cambridge 대학의 Sirringhaus 연구팀과 캐나다 Xerox 연구소의 Ong 연구팀은 ZnO 나노 입자 및 졸 기반으로 용액 공정을 통하여 트랜지스터를 구현하여 250-500도 정도에서 소자성능 발현이 가능하다는 보고를 하였다. 무기산화물 소재가 주목을 받는 이유는 그동안 PbSe 등 화합물 반도체 나노입자 기반 트랜지스터는 보고되었으나 이들 재료는 유기재료와 유사하게 대기 중에서 쉽게 산화되는 문제를 갖고 있다. 이에 대한 원천적인 대안이 안정한 산화물이며 이 중에서도 4s 오비탈 중첩으로 반도체성/전도성 제어가 용이한 ZnO계가 주목받고 있다. 또한 일본 Seiko-Epson사는 Cyclopentasilane

유기 실리콘 기반 신조성 물질을 개발하여 용액 공정으로 LTPS-TFT 소자에 육박하는 성능 구현이 가능하다는 논문을 Nature에 보고 하였다. 이러한 연구 개발 동향에 비추어 볼 때 대기 중에서 저온 공정이 (200도 이하) 가능하면서도 비정질 실리콘 이상의 이동도를 구현할 수 있는 반도체 잉크 소재 개발은 적용성 및 활용성 측면에서 볼 때 향후 매우 중요한 핵심원천 분야가 된다고 할 수 있다.

전자소자에 있어 절연체 (유전체)는 필수적인 구성 요소라고 할 수 있다. 특히 트랜지스터에 있어서 반도체-절연체 계면은 전하의 축적 및 이동이 일어나는 곳으로 절연막 표면의 물성 및 특성은 반도체의 미세구조 및 분자 배향성에 영향을 주어 소자 특성, 즉 이동도, 작동 전압, On/Off Ratio를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 요구되는 특성으로서는 고유전율, 저 누설전류를 갖는 물질이어야 하면서, 용액 공정을 통하여 우수한 표면 조도를 갖으며 얇고 균일하게 성막 및 패터닝이 가능해야 하고, 반도체의 이동도를 향상시키기 위하여 계면 제어가 용이해야 한다. 현재 용액공정이 가능한 유전체 소재로는 Poly(a-methylstyrene), Poly(2-hydroxyethyl methacrylate), Polyimide, Polyvinylacetate 등이 보고되고 있으나 가장 우수한 물성을 보이는 절연체 재료로서 Polyvinylphenol(PVP)가 최근 많이 연구되고 있다. 하지만 이들 재료에 대한 연구는 잉크젯 프린팅이 아닌 Spin Casting에 의하여 제조된 형태로 이루어지고 있고 잉크젯 프린팅이 가능한 액상 유전체 및 프린팅 된 유전막의 물성에 대한 연구는 거의 보고되고 있지 않다. 잉크젯용 유전체 소재 개발의 핵심 이슈는 프린팅을 통하여 저온에서 누설전류가 생기지 않도록 균일한 성막이 되도록 잉크 용매 및 유전체 소재를 설계해야 하며, 반도체 소재와의 적합성과 열적 안정성이 뛰어나며, 동시에 대기 중에서 수분을 흡착하지 않도록 표면 특성 및 분자 구조를 제어하여 성능 변화가 적은 안정한 유전체가 필요하다. 이런 특성을 동시에

만족하기 위해서는 유기 또는 무기 소재만으로는 구현하기 어려우며 유기-무기 소재의 장점을 살리고 단점을 보완하는 형태로 하이브리드 소재가 주목받고 있다.

### IV. 전 망

미래의 정보/전자 소자 및 디스플레이의 제작은 Batch 타입의 반도체 공정과는 다른 저온 비진공 공정으로 대량 생산성이 용이한 첨단 인쇄법이 적용될 것으로 예상되며 그 응용범위는 LCD, OLED, RFID 태그, 수화물 태그, 전자종이, 전자직물 등으로 확대되어, 점차 값싸고 유연성 있는 다양한 분야의 인쇄전자소자로 응용될 것이다. 관련 전자잉크 및 기판재료 관련 시장 규모는 2012년에 7.7 Billion Dollar에 달할 것으로 예상되며, 그 중 은 나노 전도성 잉크 시장 규모만도 2014년에 900 Million Dollar 까지 성장되리라 전망된다[그림 6]. 최근 2007년 1월에는 인쇄 전자소자 및 디스플레이 분야에 있어 중요한 전환점이라 할 수 있는 사건이 있었다. 영국 Cambridge 대학 Cavendish 연구소에서 Spin-off 되어 출발한 Plastic Logic사가 100 Million Dollar 규모의 자금을 투자하여 2008년 하반기에 출시를 목표로 휴대용 스마트 단말기 양산을 위한 설비 투자를 개시하여 인쇄전자 제품의 첫 번째 상용화를 목전에 두고 있다. 이를 기점으로 향후 인쇄 전자소자용 소재에 대한 원천기술 확보를 위한 무한 경쟁이 더욱 가속화 되리라 예상된다. 이러한 경쟁은 기술적 발전을 촉진할 것이며 가까운 장래에는 플렉시블 디스플레이, 플렉시블 정보저장 및 연산장치, 플렉시블 배터리/연료전지 등이 하나의 기판 위에 구현된 Sheet-on-System 형태의 소자도 가능할 것으로 기대된다. 잉크젯 프린팅을 이용한 인쇄 전자소자 및 디스플레이 제작에 대한 연구는 국외에서도 초기 단계이며 차세대 기반기술로서 관련 다른 산업들의 경쟁력을 확보하는데 있어서 매우 중요한 원천기술이 될 가능성이 크다고 할 수 있다. 특히 다양한 기능성 잉크 소재는 핵심 기반분야로 이에 대한 기술 개발이 필수적으로 선결되어야 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] "Display of flexibility", Nature 445, 473 (2007).
- [2] "Organic materials for printed electronics", Nature Materials 6, 3 (2007).
- [3] Reports on "Printed Electronics: Technology Overview and Applications", IDTechEx, www.idtechex.com (2006).
- [4] Reports on "Inks for the Printable Electronics Market", NanoMarkets Inc., www.nanomarkets.net (2006).
- [5] "NanoMarkets report, Opportunities in Materials for Printable Electronics: 2007 & Beyond" NanoMarkets, LC, VA, USA.
- [6] A. Facchetti, M. Yoon, and T. J. Marks "Gate dielectrics for organic field-effect transistors: new opportunities for organic electronics", Advanced Materials 17, 1705 (2005).
- [7] M. L. Chabinyc and A. Salleo "Materials requirements and fabrication of active matrix arrays of organic thin-film transistors for displays", Chemistry of Materials 16, 4509 (2004).
- [8] H. Sirringhaus "Device physics of solution-processed organic field-effect transistors", Advanced Materials 17, 2411 (2005).
- [9] E. Fortunato, P. Barquinha, A. Pimental, A. Goncalves, A. Marques, L. Pereira, and R. Martins "Recent advances in ZnO transparent thin film transistors", Thin Solid Films 487, 205 (2005).
- [10] R.L. Hoffman "Effects of channel stoichiometry and processing temperature on the electrical characteristics of zinc tin oxide thin-film transistors", Solid-State Electronics 50, 784 (2006).



[그림 7] 인쇄전자소자 산업의 전망 및 잉크젯 프린팅 핵심 소재의 역할

### 저 자 소 개



문 주 호

1986. 3~1990. 2 : 연세대학교 세라믹 공학과 학사, 1992. 1~1995. 8 : Univ. of Florida 재료공학과 석사, 1992. 1~1996. 5 : Univ. of Florida 재료공학과 박사, 1996. 6~1998. 6 : Massachusetts Institute of Technology, Research Associate, 1998. 8~2000. 4 : 일본 통산성 나고야 공업기술원, 초빙연구원, 2000. 9~현재 : 연세대학교 공과대학 신소재공학과 부교수