

초저가 플라스틱 RFID Tag제조를 위한 플라스틱 IC 인쇄 기술

조규진 · 송재희 · 정민훈 · 양희택 · 이복임 · 김선희

1. 서론

RFID tag는 다음(그림 1)에 도시한 바와 같이 크게 RF 안테나와 트랜스폰더로 나눌 수 있고 트랜스폰더는 RF 인터페이스, 마이크로프로세서 및 메모리의 3부분으로 나눌 수 있다.¹ 물론 RFID tag의 사용 용도 및

가격에 따라 마이크로프로세서와 메모리 부분은 1-bit 트랜스폰더 또는 surface wave 형태를 이용하면 생략하고 간단한 구조로 대체될 수도 있으나, 유비쿼터스 시대의 중심 요소로 이용되기 위해서는 RFID tag가 마이크로컴퓨터 기능을 가져야 하며 이를 위해서는 마이크로프로세서와 메모리 부분이 트랜스폰더에 포함되어

조규진 1989 경희대학교(학사) 1995 Univ. of Oklahoma(박사) 2005 Rice대학 연구교수 2005~ RRC 센터장 현재 1996~ 순천대학교 화공과 부교수 현재	송재희 1989 인하대학교(학사) 1991 인하대학교(석사) 1994~ Univ. of California at San Diego(박사) 1998 1999~ Univ. of California at Berkeley(박사후 연구원) 2002 2004~ 순천대학교 화학과 조교수 현재	정민훈 2004 순천대학교 화학공학과(학사) 2006 순천대학교 화학공학과(석사) 2005 Univ. of Rice, 화학과, 연구원 2005~ (주) 파루 RFID 기술연구센터 현재 연구원
양희택 2004 순천대학교 화학공학과(학사) 2004~ 순천대학교 화학공학과(석사) 2006 2005 Univ. of Wollongong, 연구원 2005~ (주) 파루 RFID 기술연구센터 현재 연구원	이복임 2004 성신여자대학교(학사) 2004~ 성신여자대학교(석사) 2006 2005~ (주) 파루 RFID 기술연구센터 현재 연구원	김선희 2004 순천대학교 화학공학과(학사) 2005~ 순천대학교 화학공학과(석사과정) 현재 2005~ (주) 파루 RFID 기술연구센터 현재 연구원

조규진



송재희



정민훈



양희택



이복임



김선희



Plastic IC Printing Technology for Preparation of Penny Plastic RFID Tag

순천대학교 신소재응용학부 화학공학과(Gyou-Jin Cho and Jae-hee Song, Department of Chemical Engineering, Sunchon National University, 315 Maegok, Sunchon, Jeonnam 540-742, Korea) e-mail : gcho@sunchon.ac.kr
(주) 파루 RFID 기술연구센터 연구원(Min-hun Jung, Hee-teak Yang, Bock-im Lee, and Sun-hee Kim, Center for Plastic RFID Technology, 42-2, Sunchon Industrial Complex, Sunchon, Jeonnam 540-813, Korea)

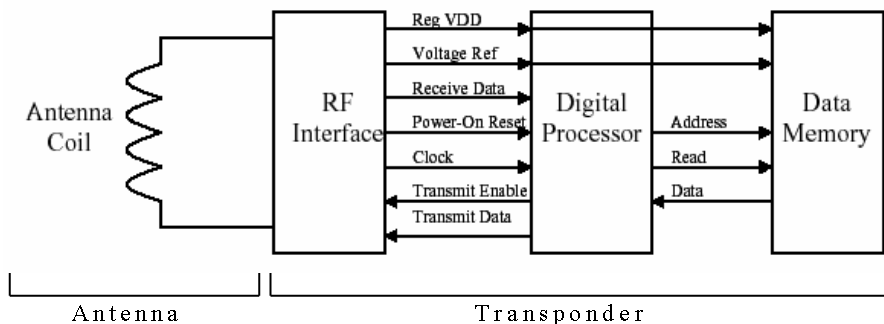


그림 1. RFID Tag 기본구조.

아 한다.

그림 1에 도시한 RFID tag를 중심으로 기본 동작 원리를 공급되는 전원 유무에 따라 살펴보면, tag 자체 내에 배터리를 포함하는 능동형 RFID tag와 리더기로부터 전원을 공급받는 수동형 RFID tag로 나눌 수 있다. 일반적으로 수동형 RFID tag 제조가 능동형보다는 생산가격이 저렴하며 광범위하게 사용될 수 있기 때문에 인쇄방법에 의한 저가의 플라스틱 RFID tag 제조는 모두 수동형 RFID tag 제조에 국한되어 기술개발이 진행되고 있다.

수동형 RFID tag는 전원을 리더기에서 발생하는 고주파의 전자기파를 안테나를 통하여 RF 인터페이스의 집적된 레กติ파이어(rectifier)를 통해 구동전압(DC)으로 전환하여 트랜스폰더칩을 구동시키는 에너지원이 된다. 또한 RF 인터페이스는 tag가 지닌 정보를 리더기에 전달하고 받는 역할을 주로 수행한다.¹ 이와 같은 RF 인터페이스를 포함한 트랜스폰더칩의 마이크로프로세서와 메모리 부분은 현재까지 실리콘에 기초한 집적화된 칩으로 제조되어 RF 안테나에 별도로 접합하는 방법을 이용하여 수동형 RFID tag가 제조되었다. 이에 따라 현재 수동형 RFID tag 1개당 생산 가격을 50원 이하로 낮추는 것은 실리콘 칩을 이용하여서는 불가능한 것으로 알려져 있다. 그러나 유비쿼터스 시대에서는 기존의 바코드와 같이 저렴하면서도 적당량의 정보(440 bit 이상)를 주고 받을 수 있는 초저가 즉 5원 이하의 수동형 RFID tag 개발이 필수적이다.

본 특집에서는 초저가의 수동형 플라스틱 RFID tag 생산을 위한 가능한 기술들을 정리해 보고자 한다. 초저가 수동형 플라스틱 RFID tag 생산을 위해서는 기존의 실리콘에 기초한 제조 기술이 아닌 보다 저렴하고 간편한 제조 기술이 필요하며, 이를 위해서는 고비용의 반도체 공정장비가 아닌 저비용의 인쇄 장비를 이용한 전 플라스틱 RFID tag 제조 기술이 필수적이다. 우선

인쇄 장비를 이용하여 플라스틱 필름위에 RFID tag를 제조하기 위해서는 최소한 기존의 바코드가 지닌 정보를 대체 할수 있는 정보 저장에 가능한 수준의 RFID tag 인쇄 기술이 필요하다. 바코드 대체용 RFID tag 제조를 위해서는 최소 약 400개 정도의 트랜지스터가 명함 크기정도의 넓이(15 cm²)에 인쇄되어야 한다. 이를 위해서는 트랜지스터 하나의 크기가 약 5 mm² 이하여야 한다.

인쇄 방법을 이용하여 5 mm² 이하의 트랜지스터를 제조하기 위해서는 최소 10 μm의 분해능을 지닌 인쇄 장비가 필요하며, 동시에 회로패션, 전극, 절연막 및 반도체 인쇄에 필요한 적합한 잉크가 필요하다. 이러한 잉크는 전도성 고분자 및 일반 고분자 용액을 적절하게 포물레이션 하여 제조할 수 있다. 따라서 초저가의 수동형 플라스틱 RFID tag 제조를 위해서는 우선 적합한 인쇄 장비가 필요하며, 이들 장비에 적합한 잉크가 필수적임을 알수 있다. 본 특집에서는 일반적으로 이용될 수 있는 전자소자 인쇄 장비 소개와 트랜지스터 제조용 전자잉크 포물레이션을 포함하여, 수동형 RFID tag를 구성하는 RF 인터페이스, 마이크로프로세서 및 메모리에 제조에 필수적인 고분자 집적 회로 제조 기술 및 고분자 메모리 제조 기술의 현황을 살펴보고자 한다.

2. 전자 소자 인쇄 기술

저가의 전자 소자를 전자잉크 그대로를 사용하는 인쇄 기술을 이용하여 제조하기 위해서는 각 소자를 이루고 있는 인덕터, 저항, 캐패시터, 트랜지스터, 배선 등을 100% 인쇄방법으로 제조 가능하여야 한다. 이를 위해서는 우선적으로 각 특성에 적합한 전자잉크가 개발되어야 하며, 고 분해능의 인쇄 설비가 갖추어져야 한다. 전자잉크는 다음 3장에서 언급하고 2장에서는 전자소자 제조

가 가능한 인쇄 설비들의 장단점을 간략하게 언급하고자 한다.

전자소자가 인쇄 가능한 일반적인 프린팅 방법으로는 Flexography, Letterpress, Soft Lithography, Offset Lithography, Gravure, Pad, Screen, Inkjet Electrophotography, Micropen, Transter Printing, Dip-pen Nanolithography 등이 있으며,² 이들 중 저가의 전자 소자들을 대량 생산할 수 있는 상용화된 인쇄 장비들

의 장단점을 다음페이지 표 1에 요약하였다.

특히 그림 2에 도시한 플렉소 인쇄는 현재 독일의 Poly IC에서 자유자재로 힘이 가능한 TFT를 대량 인쇄할 수 있는 과일듯 생산 기술을 확립한 상태이다. 그러나 플렉소 인쇄는 분해능의 한계가 있어 TFT의 채널길이를 30 μm 이하로 인쇄하는 것은 불가능하여, 이에 따라 인쇄된 TFT의 정열비와 전하 이동도가 반도체 물질 자체가 지니고 있는 고유의 값들보다 낮아지게

표 1. 현재 전자소자 제조에 쓰일 수 있는 인쇄 장비 분석

인쇄기 종류별		플렉소	오프셋	그래비아	로타리스크린	로타리레터프레스
인쇄방식		블록판	평판	오목판	공판	블록판
인쇄판 재질		고무판	PS판	동판	원통형망사	수지판
인쇄원리	재판	유연한 수지 또는 고무블록판에 잉크를 사용	필름출력 후 형광 램프를 통해 PS판에 전이	드럼식으로 동을 썬후 이미지 조각하고 크롬코팅(음각가공)	스크린 재판기법과 동일하며 망사형으로 생산성의 향상, 재판가격 비쌈	필름을 화확처리된 수지판에 빛으로 빛에 반응된 부분을
	인쇄방법	잉크통의 롤러로 안료잉크 또는 아날린을 올려 이에 접하는 잉크롤러를 롤러로 잉크를 고무판에 고무 문혀 압통에 의해 종이와 판에 압착인쇄	PS판을 드럼에 부착하고 물과 잉크를 공급하면 상온에서 인쇄는 성질로 인쇄될 부위만 잉크가 남고, 하부의 고무로 잉크가 종이의 인쇄면을 전달하는 간접인쇄방식	동판가공 후 드럼부착, 가공된 동판에 잉크를 문혀 doctor(얇은 강판)로 긁어 불필요한 잉크를 없앴후 오프 cell속에 남아있는 잉크를 고무롤러를 이용하여 적당한 압력을 가해 잉크를 다양한 기재에 전이시키는 인쇄방법 다색, 복합 인쇄와 미세한 화면부위까지 인쇄가 가능하며 플라스틱 필름, 셀로판 등 다양한 기재에 적용이 된다.	원형 통안에 잉크가 들어있어 망을 통하여 잉크를 인쇄면에 공급하는 방식	수지판을 드럼에 부착하고 불룩면에 잉크를 공급하여 인쇄
선명도(LPI)		85~130	130~300	130~300	65~120	130~177
색조범위		5~95	2~98	1~98	10~90	3~97
사용잉크 성질		수성	수성, 유성	유성	수성, 유성	수성, 유성
잉크 도포량		얇음	얇음	얇음	상대적 두터움	얇음
잉크 건조방식			상온건조, UV경화	열건조, UV건조	열건조, UV경화	UV건조
인쇄가능 소재		종이/필름 등 인쇄가능	종이만 가능	소재별로 다름	종이/필름 등 인쇄가능	종이/필름 등 인쇄가능
인쇄폭(mm)		480	1050*750	1000	480	250
급지형태		롤	시트	롤	롤	롤
출지형태		롤 & 시트	시트	롤	롤 & 시트	롤 & 시트
판매처			하이델베르크	대진, 대양, 국제, 다이요	스톡	산기 등
원산지			독일	한국, 일본	네덜란드	일본
대략가격		15억	5~15억	6~8억	15억	6~10억
속도(m/min.)		60~90 m	90~120 m	120~180 m	30~60 m	60~90 m
대략크기		10 m*3 m	10 m*3 m	15 m*3 m	10 m*3 m	10 m*3 m
비고		고급인쇄는 부적합하고 신문, 서적 포장지, 박스, 라벨 전산제품과 사무용품류에 사용국산은 없음	일반적인 오프셋용 종이면에 가능하며 필름적용시는 UV오프셋기를 별도제작, 부착하거나, UV오프셋 전용이 가장 일반적임 국내산은 없으며 일산은 기계가 약하고 독일 하이델베르크가 대부분임	기계 사양별로 자동, 반자동, 수동이 있으며 제법 별로 종이, 필름, 알미늄 기체가 다름 대략 가격산출기준 국내산 최상급, 전자사양 최상급, 무촉방식, 8도 기준, 보일러 시설(스팀방식)의 경우, 도당 가격산출 거의 국산을 사용함 외산의 경우 농심계열사가 독 일산 전자용 방식을 사용(450억 규모) 점도 자동회색기 있음-각드럼의 색상별로 설치, 점도 자동회색하여 색상의 변화가 거의 없음, 1도 당 1억 5천이상(농심은 설치) *교정기-샘플제작용 및 테스트용으로 활용여부 확인 인쇄기와 동일하게 인쇄되며 1도씩 동판을 바꿔 가며 인쇄가 가능, 2억 정도	국내의 제작사는 없으며 기계가 고가이고 스크린판의 단가가 비싸 국내시장 형성인됨, 외국에서는 사용함. 인쇄/라벨에는 거의 사용하지 않고 섬유인쇄용으로 일부 사용함	대부분이 일본산

된다.

그림 3에는 잉크와 표면 요철 부분에 직접 인쇄가 가능한 letterpress 인쇄 방법을 간략히 도시하였고, **그림 4**에는 기름과 물성분의 상호 반발효과를 이용한 offset 인쇄 방법을 간략히 도시하였다.

또한 **그림 5**에는 인쇄 방법들 중 가장 빠른 속도를 지닌 gravure 인쇄 방법을 간략히 도시하였다. 이 방법은 컬러필터 인쇄 등에 매우 유익하게 적용 가능하다.

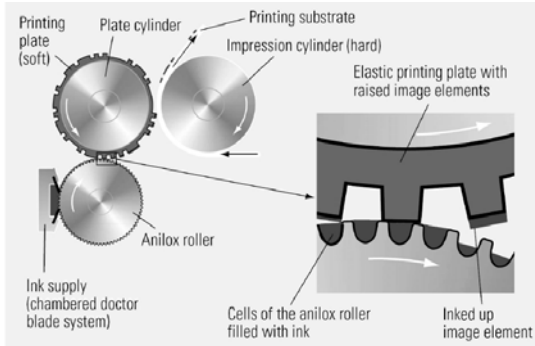


그림 2. Flexography.

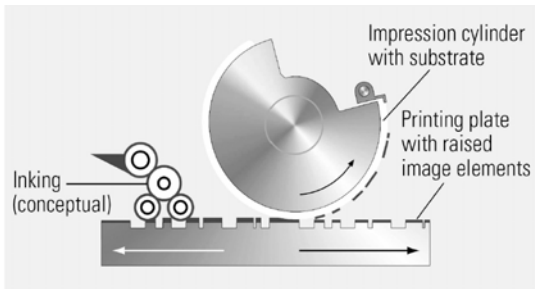


그림 3. Letterpress.

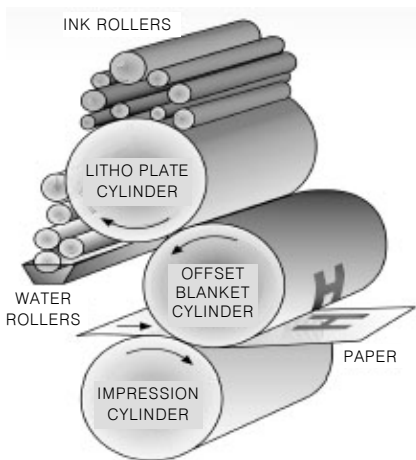


그림 4. Offset lithography.

그림 6에는 전체 방법들 중 굴곡이 있는 표면에 인쇄가 용이한 pad printing 방법을 도시하였다. 전자 소자 인쇄 방법 중 가장 높은 프리퀀시에도 동작할 수 있는 트랜지스터 인쇄가 가능한 dip-pen nanolithography 기술을 **그림 7**에 도시하였다.²

기존의 인쇄 장비들 중, 현재 반도체 공정의 fab을 대체할 만한 인쇄 장비로 잉크젯 프린터를 들수 있는데, 포토레지스트 등 리소 공정에 사용되는 화학약품을 전혀 사용하지 않아 저비용이며 공정이 단순하다. 현재 알려진 잉크젯 프린터의 최대 분해능은 약 5 μm 로서 이 범위내의 아래 그림에 도시한 다양한 용도의 fab 공정을 간단하게 저비용으로 수행할 수 있는 장점을 지니고 있다.³

특히 고분해능의 잉크젯 인쇄의 장점은 기관과 접

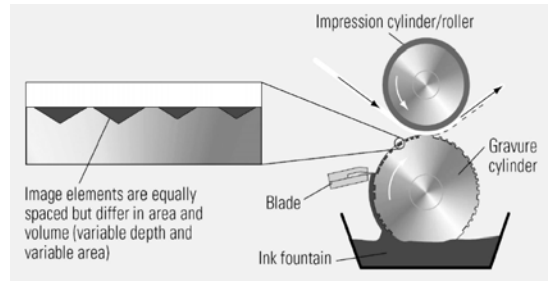


그림 5. Gravure.

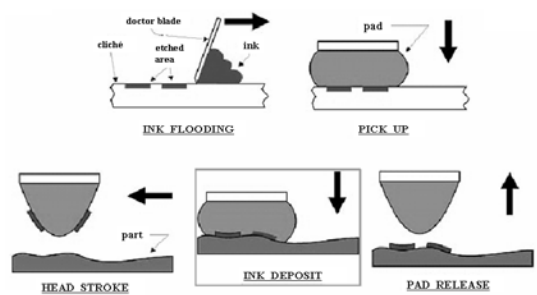


그림 6. Pad printing.

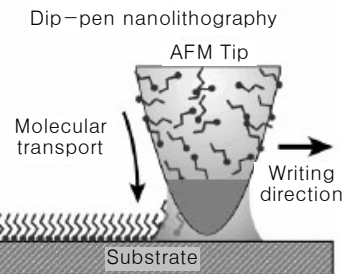


그림 7. Dip-pen nanolithography.

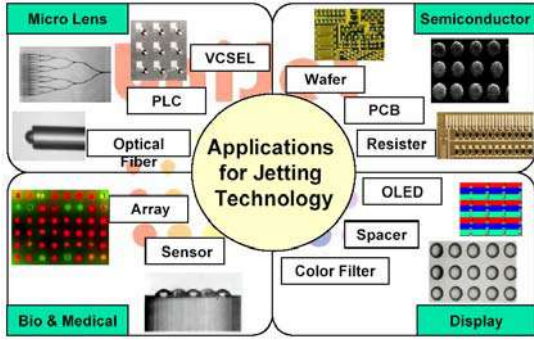


그림 8. 잉크젯 인쇄기술의 산업적 응용.

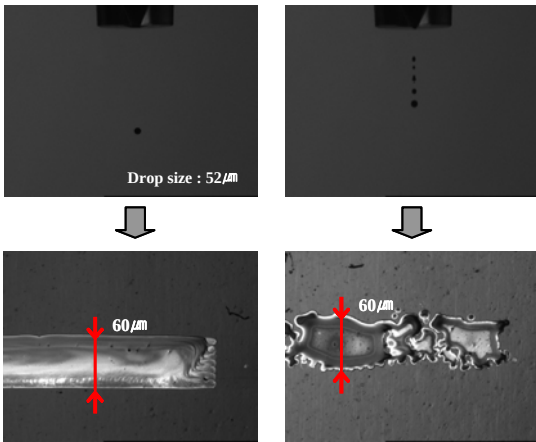


그림 9. Ink방울 형태가 인쇄에 미치는 영향.

촉하지 않고 인쇄를 수행할 수 있다는 것으로서 기관에 미리 인쇄된 소자와의 접촉오염을 줄일 수 있으며 동시에 미리 인쇄된 소자와 정확한 배열로 인쇄할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 이에 따라 그림 8에 도시한 바와 같이 그 분해능의 잉크젯 프린터는 기존의 fab 공정을 저렴하고 단순하게 대체할 수 있다.

그림 9에 도시한 바와 같이 잉크젯 노즐에서 사출되는 잉크 방울의 모양과 크기가 인쇄되는 소자의 정확성을 좌우지 않게 된다.³ 따라서 일반적으로 잉크젯 노즐은 이미 제품으로 구입하므로 변형이 어렵기 때문에 주로 사용하는 노즐에 가해지는 압력(back pressure)과 잉크젯 잉크의 점도, 표면장력 및 젖음성을 제어하여 인쇄되는 소자의 품질을 제어할 수 있다. 일반적으로 점도가 낮게 되면 그림 10에 도시한 바와 같이 노즐로부터 생성되는 잉크 방울에 기생 잉크 방울이 생성되어 원하는 분해능을 확보하기가 어렵게 된다.

반면, 점도가 높으면 인쇄속도가 늦어지게 되므로 (그림 11) 인쇄하고자 하는 기관과 잉크의 점도, 표면

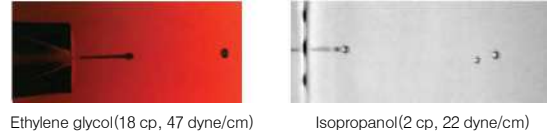


그림 10. 점도가 잉크 방울 생성에 미치는 영향.

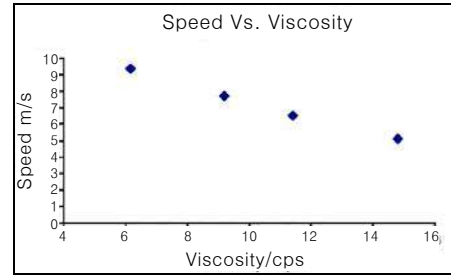


그림 11. 잉크 점도가 잉크젯 인쇄 속도에 미치는 영향.

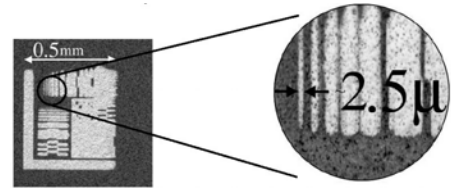


그림 12. 3 μm 이하의 분해능을 지닌 잉크젯 인쇄.

장력 등을 고려한 종합적인 인쇄 조건을 확립하여야 한다.

결론적으로 잉크젯 인쇄 방법은 다른 인쇄 기술에 비하여 인쇄 장비가 저렴하고 또한 컴퓨터로 모든 소자를 자유자재로 설계하고 직접 인쇄할 수 있다는 장점이 있어 미세 전자 소자 제작까지 기존의 반도체 fab 공정을 대체할 수 있을 것이다(그림 12).

3. 전자 잉크 제조기술

핸드폰, PDA, 노트북 컴퓨터 등 각종 전자기기에 들어가는 연성 인쇄회로 기관(flexible printed circuit board, FPCB)과 일반적인 산업용, 사무용 또는 가정용 전기전자기기에 사용되는 인쇄회로 기관(printed circuit board, PCB)은 수지 필름에 전체적으로 동이 결합되어 있는 연성 동박 적층판(flexible copper clad laminate, FCCL) 또는 동박 적층판(copper clad laminate, CCL)을 리소그래피(lithography) 공정을 통하여 부분적으로 식각하여 원하는 배선만 남기는 복잡한 일련의 공정을 거쳐 제작되었다. 즉 폴리 이미드와

표 2. 배선 및 전극용 전도성 잉크

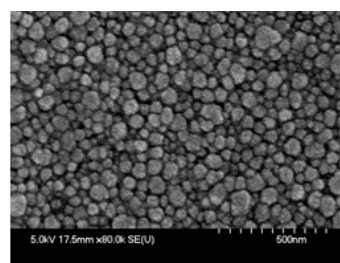
Particle	Particle size (nm)	Solvent	Conc. (wt%)	Curing condition	Line width (μm)	Line thickness (nm)	ρ (Ω cm)	Author
Ag	5~7	α -terpineol	10	100~300 °C (hot surface)	80	100	3×10^{-6}	Fuller <i>et al.</i>
Au	2~4	Toluene	30	300~400 °C (laser curing)	20	50	1.4×10^{-5}	Bieri <i>et al.</i>
Au	2~4	Toluene	30~35	50~500 °C (laser curing)	123	250	4.5×10^{-6}	Chung <i>et al.</i>
Au	2~5	Toluene	30	200~1000 °C (laser curing)	17	20~200	1.4×10^{-5}	Bieri <i>et al.</i>
Au	5~20	Toluene	30	300 °C	1000	600	1×10^{-5}	Szczeczek <i>et al.</i>
Ag	1~10	Toluene	30~35	300 °C	120	1000	3.5×10^{-5}	Szczeczek <i>et al.</i>

같은 내열성 수지 필름위에 접착제를 바르고 여기에 동박을 붙인 후 고온 프레스 공정을 통하여 연성 동박 적층판 또는 동박 적층판을 제조하거나, 상기 접착제 대신 구리와 이중 원소 합금으로 이루어진 중간층을 형성한 후 동박을 결합하는 공정을 통하여 인쇄회로 기판의 원소재인 동박 적층을 제조하고, 얇게 만들어진 동박 적층판에 원하는 형태의 배선만을 남겨 원하는 회로를 만들기 위해서는 포토레지스터의 도포, 건조, 노광, 세정, 에칭, 포토레지스터 제거 등의 리소그래피 공정을 거치게 된다. 이와 같은 공정은 다양한 고가의 장비가 필요하고, 제조비용이 높은 공정을 수행하여야 한다는 문제점이 있다.

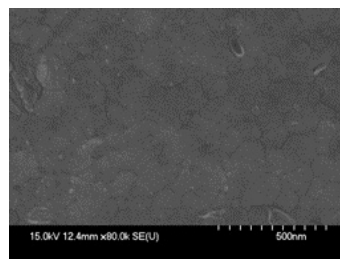
이에 따라 인쇄회로뿐만 아니라 매크로 전자 소자 등 저가의 전자 소자는 이러한 기존의 fab 과정을 줄이고, 저가로 인쇄기술을 이용하여 제작 할 수 있는 다양한 전도성 잉크들이 개발 되었다. 전도성 잉크는 배선 및 전극재료로 이용하기 위해서 금속 나노 입자를 분산시켜 제조할 수 있으며, 은(Ag), 동(Cu), 니켈(Ni), 백금(Pt), 금(Au), 또는 팔라듐(Pd) 등을 사용할 수 있다.⁴

나노입자를 만드는 방법으로는 전기분해법, 졸-겔법, 마이크로 에멀전법 및 화학환원법을 들 수 있다. 전기분해법과 졸-겔법은 제조 비용이 높고 많은 양의 금속 콜로이드를 제조하기 어렵고, 마이크로 에멀전법은 제조 방법이 복잡하여 입자의 크기 및 현상을 제어하기 어려워 실용성에 문제가 있다는 단점을 가지고 있다. 그러나 화학환원법은 고분자 분산 안정제 존재 하에 환원력을 갖는 용매를 이용하여 금속 연의 환원에 의하여 나노 입자를 제조하는 것으로 제조 방법이 간단하고 대량생산이 가능하다는 장점을 가지고 있다.⁵

나노입자를 이용한 전도성 잉크는 전도도가 가장 중요하게 고려되어야 한다. 현재 까지 연구되어진 전도성 잉크의 전도도를 표 2에 요약 하였다. 전자잉크로



70 °C



200 °C

그림 13. 인쇄된 나노잉크의 열처리 전후 SEM 이미지.

사용되기 위해서는 인쇄 후에 열처리(curing)를 하여 나노입자를 그림 13에 도시한 바와 같이 연결하여야 하며, 단시간에 열처리를 해서 높은 전도도를 갖게 하는 것이 중요하다.

입자크기는 1~80 nm 이하가 좋고, 침전 없이 안정하게 분산 되어야 한다. 잉크젯 프린터에 적용 했을 때, 입자 크기가 커지거나, 입자들끼리 뭉침이 일어나 노즐을 막아 버릴 수 있으므로 입자들의 안전성을 확보하여야 하며 이를 위해서는 계면 활성제와 고분자 등을 첨가하여 입자 표면에 전하이중층(그림 14)을 형성하여 DLVO 도표에서 콜로이드가 안정화될 수 있는 반발에너지를 제공할 수 있도록 해야 한다(그림 15). 점도와 표면장력을 줄여 줄 수 있으나, 과량첨가 하게 되면,

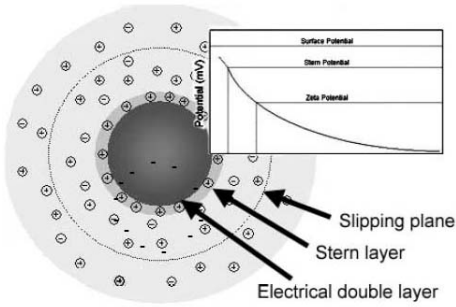


그림 14. 전자 이중층.

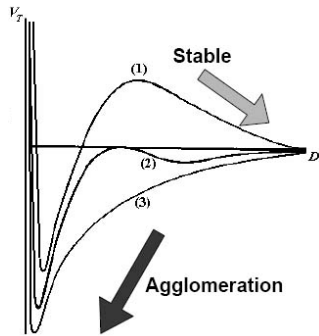


그림 15. DLVO 도표.

전기전도성이 저하되거나 접착력에 영향을 준다. 일반 프린터의 경우 점도가 2~40 cp가 적당하며, 잉크젯의 경우 1.5 cp가 적당하다. 표면장력은 보통 20~70 dynes/cm 이다.

향후 전자 잉크의 전기전도성 향상과 비용절감을 위하여 금속 나노 와이어를 이용하여 전자잉크를 제조 하고 있으며, 금속 나노 와이어는 저렴한 에멀션 방법으로 쉽게 제조가 가능하다. 제조된 금속 나노 와이어를 **그림 16**에 도시하였다.⁶

금속성 잉크는 인쇄 후 반도체와 일함수 차이로 인하여 Schottky 접촉이 될 수 있으므로, 전기전도성 고분자 잉크를 드레인과 소스 전극 제조시만 특별히 사용할 수도 있다.⁷ 금속 잉크에 사용되는 금속들의 일함수를 **표 3**에 도시하였다. 이때 주로 사용되는 전도성 고분자는 폴리피롤, 폴리아닐린과 PEDOT을 들 수 있다. 이들 고분자들은 중합시 특별한 도판트를 사용하여, 중합하는 용매에 전도성 고분자를 미세 콜로이드화 하여 안정한 분산 물질로 형성하도록 도움을 주도록 선택하여 사용하도록 한다. 대표적인 분산성 도판트들을 **그림 17**에 표시하였다.

인쇄공정을 통한 유기전자 소자에서 매우 중요한 인쇄요소는 반도체 층을 트랜지스터에 인쇄 가능하도록 하

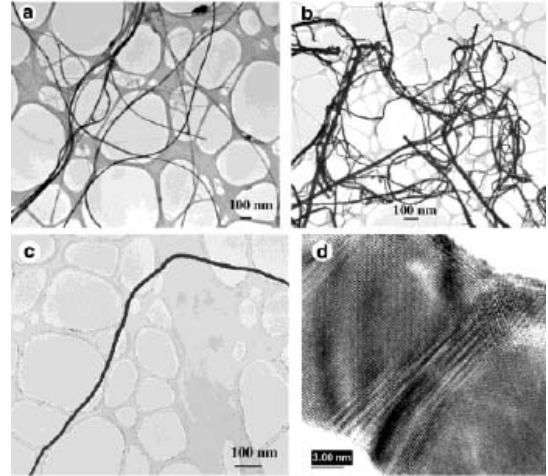


그림 16. 금속나노 와이어 TEM 사진.

표 3. 금속들의 일함수표

Metal	Cs	K	Li	Ca	Mg	Al	Ag	Cu	Pd	Au	Pt
Work Function (eV)	2.14	2.30	2.90	2.87	3.66	4.28	4.26	4.65	5.12	5.1~5.47	5.65

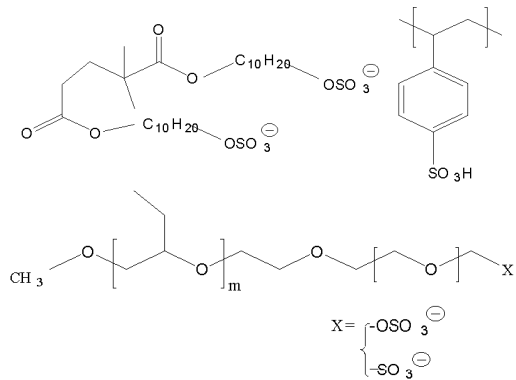


그림 17. 대표적인 분산용 도판트.

는 반도체용 잉크제조이다. 반도체용 잉크제조는 우선적으로 고려되어야 할 부분이 인쇄 후 반도체 분자들의 배열에 관한 부분이다. 유기 반도체물의 증착에 의해 제조된 트랜지스터는 일반적으로 인쇄 방법으로 제조한 트랜지스터에 비해 전하 이동도가 100배 정도 큰것을 보면 알 수 있듯이 반도체 잉크가 지닌 결점을 쉽게 알 수 있다. 이와 같은 단점을 극복하기 위해서는 잉크상으로 존재시에는 무결정 형태로 존재하나 인쇄 후 건조되며 분자들이 자기배열하여 잘 정돈된 결정형의 반도체 인쇄되는 물질이 필요하다(**그림 18**).⁸

게이트 전극 절연 물질용 잉크는 유전상수가 높은 고분자들을 분자량에 따라 유기 또는 물에 녹여 점도와 표

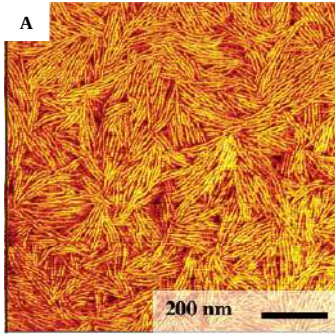


그림 18. 잉크 건조후 배열된 반도체 고분자들의 AFM 이미지.

면장력을 적절히 제어하여 잉크로 사용할 수 있다. 이때 절연층에 미세 구멍들이 인쇄 후 생성될 수 있으므로 기판표면과의 젖음이 절연층 잉크제조에 매우 중요한 변수가 될 수 있다.

4. 고분자 집적회로 제조기술

이 장에서는 이미 잘 정리되어서 보고된 유기 트랜지스터(OTFT)에 대해서는 별도로 언급하지 않고,⁹ 거의 모든 전자 시스템에 사용되는 기본적인 신호처리 기능인 신호의 증폭을 담당하는 증폭기(amplifier)와 디지털 회로 설계에서 가장 기본적인 요소인 반전기(inverter)에 대하여 간략히 MOSFET를 기준으로 원리를 설명하고 고분자 집적회로의 한예로 RFID tag 발진에 중요한 링 발진기(ring oscillator)회로와 발진 특성을 예로서 설명하였다.

개념상으로 보면, 가장 간단한 신호처리는 신호의 증폭이다. 트랜스듀서로부터 공급되는 신호는 대개 마이크로볼트(μV) 또는 밀리볼트(mV)의 범위 내에 있고, 작은 에너지를 갖는 ‘약한’ 신호이기 때문에, 이런 신호를 증폭시킬 필요가 있다. 특히 고분자 집적회로에서는 신호가 MOS에 비하여 현저히 낮기때문에 특히 증폭기의 기능이 매우 중요하다.

고분자 증폭기는 MOSFET 증폭기 회로를 그대로 이용하여 인쇄하는 방법으로 제작이 가능하다. 집적회로 증폭기들에 관해서는 이곳에서 설명하지 않고, 이장에서는 개별 MOSFET 증폭기를 기준으로 설명하고자 한다. 개별 회로는 증폭기 부하들로 주로 저항기들을 이용한다. 그러나 IC MOS 증폭기들은 증폭기 부하들로 일정 전류 전원을 사용한다. 이 전원들이 MOS-FET들을 추가하여 구현되므로, 그 결과 증폭기는 더욱 복잡한 회로가 된다. 따라서 여기에서는 MOSFET 증

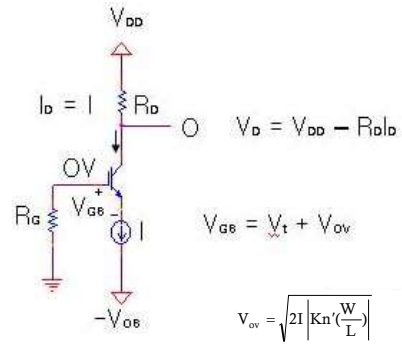


그림 19. 개별회로 MOSFET 증폭기 회로의 기본적인 구조.

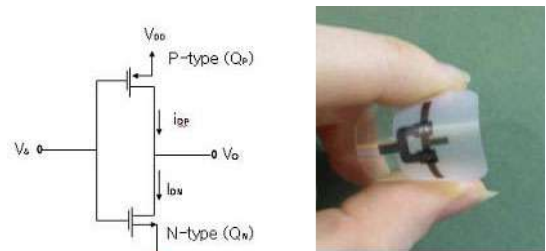


그림 20. CMOS 반전기 회로와 고분자를 통해 인쇄된 반전기의 예.

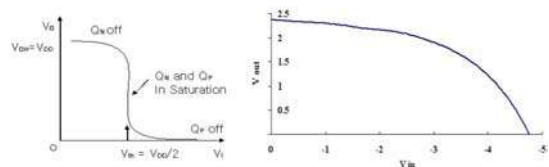


그림 21. CMOS 반전기와 인쇄된 반전기 전압특성.

폭기 구성들에 대한 주제 소개와 기본적인 원리를 설명하고자 한다. 그림 19는 개별회로 MOSFET 증폭기들의 다양한 구성들을 구현하기 위한 기본적인 회로와 직류 전류와 이들에 나타나는 직류 전압들을 보여준다. 인쇄공정을 통하여 그림 19의 증폭기를 간단하게 인쇄할 수 있다.¹⁰

반전기는 전압제어 스위치로 동작하는 트랜지스터를 이용하여 구현할 수 있다. 가장 간단한 반전기 회로를 그림 20에 도시하였다. 그림에서 이상적인 거동은 입력 전압이 저레벨일때 스위치가 열리고 고레벨일때는 스위치가 폐쇄될 것이다($V_O=0$).

논리 반전기(logic inverter)는 그 이름이 의미 하듯이, 입력신호의 논리값을 반전 시킨다. 따라서 논리 0 입력에 대해 출력은 논리 1일 것이고, 반대로 논리 1 입력에 대해 출력은 논리 0일 것이다. 전압 레벨들의 관점에서, 그림 20의 인쇄된 반전기 전압특성을 그림 21

에 CMOS 반전기 전압특성과 함께 도시하였다.⁷

전자 시스템을 설계할 때, 규정된 표준 파형들, 예를 들어 사인파, 구형파, 삼각파, 펄스 등을 가지는 신호들이 자주 요구된다. 표준 신호들을 필요로 하는 시스템들에는 컴퓨터 및 제어 시스템, 통신 시스템, 그리고 테스트 및 계측 시스템이 포함된다. RFID 시스템에서는 파형의 신호들이 정보 캐리어(information carrier)로서 이용되며, 파형은 발진기로 생성되는데 반전기를 이용한 링 발진기(ring oscillator)를 쉽게 제조할 수 있다. 이때 제조된 링 발진의 최대 발진 주파수는 사용한 트랜지스터의 최대 스위칭 주파수(f_{max})와 비례하며 이때 $f \sim \mu \cdot U_{ds} / L^2$ (U_{ds} 는 드레인-소스 전압)로 표시한다.¹¹

링 발진기에서 모든 반전기의 출력값은 다음 반전기의 입력으로 사용되어지며 총 홀수개의 인버터가 서로 연결되어 있다. 마지막단의 반전기의 출력은 처음단의 반전기의 입력과 서로 연결되어 있다.⁷

링 발진기에 전압이 가해지면 홀수개의 반전기로 인해 회로가 구동하게 된다. 여기에 두가지 현상을 가늠할 수 있다. 첫째 회로 전체가 중간 준위의 신호를 가지게 된다. 두번째 회로가 정상적으로 구동하게 되어 발진이 일어나게 되는 것이다.

회로 구성의 많은 관점에 링 발진기는 다음과 같은 중요한 기준을 가지게 된다.

(i) 발진 논리 회로로서 기능을 지녀야 한다. (ii) 링 발진기가 구동되는 전압을 결정해야 한다. (iii) 발진기의 스테이지수가 정해져야 한다. (iv) 발진신호의 on/off, 대칭성, 노이즈 등의 특성이 결정되어야 한다. 리소공정과 인쇄 공정을 혼용한 고분자 트랜지스터를 이용한 7개의 반전기로 구성된 고분자 링 발진기의 특성을 **그림 22**에 도시하였다.¹¹

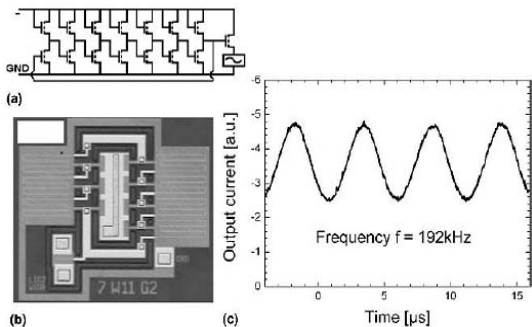


그림 22. (a) 7개의 반전기로 구성된 발진칩 회로 도식도, (b) P3HT, 골드 전극을 기반으로한 7개의 반전기로 제작된 발진칩. (c) 링 발진칩 (b)의 출력 신호, 공급 voltage: -60 V, 주파수: 192 kHz.

5. 유기 메모리 소자 제조기술

수동형 플라스틱 RFID tag에 사용되는 메모리는 읽기전용 메모리가 주를 이루고 있다. 읽기전용 메모리(ROM: read-only-memory)는 고정된 데이터 형태를 가지는 소자로서, 전원공급장치가 꺼진 상태에서도 내용이 지워지지 않기 때문에 여러 가지 디지털 시스템에 응용되고 있다.

ROM이란 주소 비트를 입력하고 지정된 주소로부터 찾아낸 데이터 비트를 출력으로 하는 일종의 조합 논리 회로라고 생각할 수 있다.¹² **그림 23**에 간략화된 32 비트 회로를 나타내었다. 각각의 비트 라인은 의사 NMOS 논리의 형태로 PMOS 부하 트랜지스터를 거쳐 공급전원에 연결되어 있다. 0을 저장하고 있는 셀에는 NMOS 트랜지스터가 존재하고 1을 저장하고 있는 셀에는 트랜지스터가 없다. **그림 23**의 ROM 회로를 따라 인쇄 기술로 고분자 FET를 이용하여 ROM 인쇄가 가능하나, 약점은 정적 전력을 소비한다는 것이다.

ROM은 사용자가 단 한번 프로그램할 수 있는 PROM과 사용자가 원하는 만큼 지우고 다시 프로그램할 수 있는 EPROM이 있다. 여기서 EPROM은 ROM의 가장 유용한 형태이나, 소거와 재프로그래밍을 하는 데는 상당한 시간이 소요되며 아주 가끔씩만 프로그램하도록 되어 있다.¹³

현재의 EPROM은 **그림 24**와 같은 셀을 이용한다.

이 셀은 기본적으로 폴리실리콘(polysilicon)으로 만들어진 두 개의 게이트를 갖는 증가형 n채널 MOSFET이다. 게이트 중의 하나는 회로의 어떤 부분에서도 전기적으로 연결되지 않는다.

플로팅되어 있기때문에, 이를 플로팅 게이트(floating gate)라 부른다. 선택 게이트(select gate)라고 하는 또

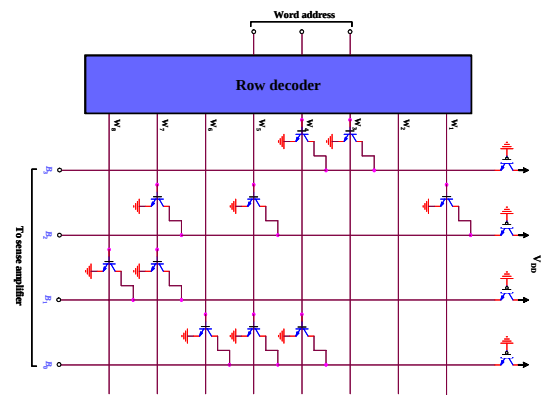


그림 23. 8워드×4비트로 구성된 간단한 ROM 회로.

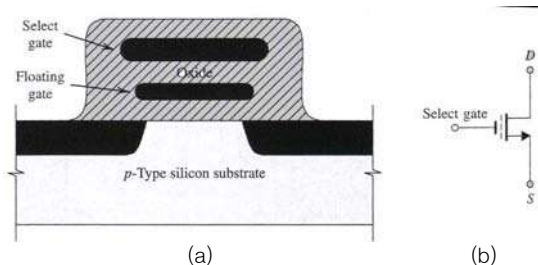


그림 24. 플로팅 게이트 트랜지스터 (a) 단면도, (b) 회로기호.

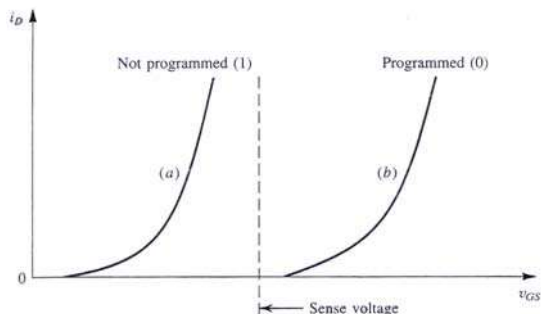


그림 25. 프로그램한 결과 플로팅 게이트 트랜지스터의 $i_D - V_{GS}$ 특성 곡선의 이동모습.

하나의 게이트는 일반적인 증가형 MOSFET의 게이트와 똑같은 기능을 한다.

위의 그림의 MOS 트랜지스터를 플로팅 게이트 트랜지스터(floating gate transistor)라고 부르며, (b)와 같은 회로기호를 사용한다. 점선은 플로팅 게이트를 나타낸다.

플로팅 게이트의 동작을 살펴보면, 셀이 프로그램되기 전에는 어떤 전압도 플로팅 게이트에 존재하지 않으며, 이 소자는 일반적인 n 채널 증가형 MOSFET와 같이 동작한다. 따라서 이것은 그림 25와 같은 $i_D - V_{GS}$ 특성 곡선을 갖는다. 이 경우 문턱전압이 낮다. 트랜지스터의 이런 상태를 프로그램되지 않은 상태라고 한다. 이것은 플로팅 게이트 트랜지스터가 존재할 수 있는 두 가지 상태 중 한 가지로서, 임의적으로 프로그램되지 않은 상태를 1이 기억된 상태로 간주한다면 플로팅 게이트 트랜지스터가 그림 25와 같은 $i_D - V_{GS}$ 특성 곡선을 가질 때, 우리는 이 트랜지스터가 1을 기억하고 있다고 말한다.

반면에 플로팅 게이트 트랜지스터를 프로그램하기 위해서는 큰 전압이 드레인과 소스 사이에 가해져야 하며, 이와 동시에 큰 전압이 선택 게이트에 인가되어야 한다.

그림 26은 프로그램 과정 중의 플로팅 게이트 MOSFET를 보여 준다.

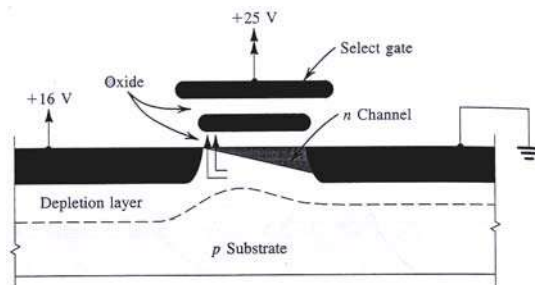


그림 26. 프로그램 중의 플로팅 게이트 트랜지스터.

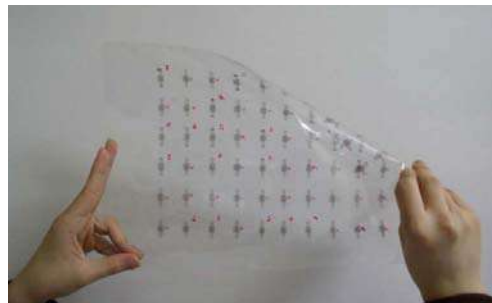


그림 27. 플라스틱 필름 위에 인쇄된 100% 고분자 플로팅 게이트 트랜지스터.

플로팅 게이트에 어떤 전하도 없기 때문에, 이 소자는 보통 n 채널 증가형 MOSFET로 동작한다. 선택 게이트에 인가된 큰 전압 때문에, n 형 반전층(채널)이 기판 표면 위에 형성된다. 또한 드레인의 상당히 큰 양의 전압 때문에 이 채널은 끝이 뾰족한 형태가 된다.

EPROM을 100% 인쇄 방법을 이용하여 저 비용으로 제조할 수 있다면, 플라스틱 RFID tag의 정보 저장 및 전달에 기존의 트랜지스터를 이용한 ROM 보다 효율적으로 이용될 수 있다.¹³ 실제로 그림 24에 도시한 플로팅 게이트 트랜지스터를 100% 잉크젯 인쇄를 이용하여 제작한 사진을 그림 27에 도시하였다.¹⁴ 이때 인쇄된 플로팅 게이트 트랜지스터의 $i - V_{DS}$ 특성과 $i_D - V_{GS}$ 특성을 그림 28에 도시하였다. 현재 국내에서 바코드에 저장할 수 있는 정보와 상응하는 RFID tag용 140 bit 메모리 셀을 100% 인쇄 방법을 이용한 플로팅 게이트 트랜지스터를 이용하여 제작 중에 있다.¹⁴

6. 전망

현 특징이 작성되는 순간까지 100% 인쇄 기술을 이용한 초저가의 플라스틱 RFID tag 제조기술은 저주파 영역에서 고주파 영역에 이르기 까지 아직 보고된 바 없다. 그러나 최근 스웨덴의 acreeo란 회사에서 인

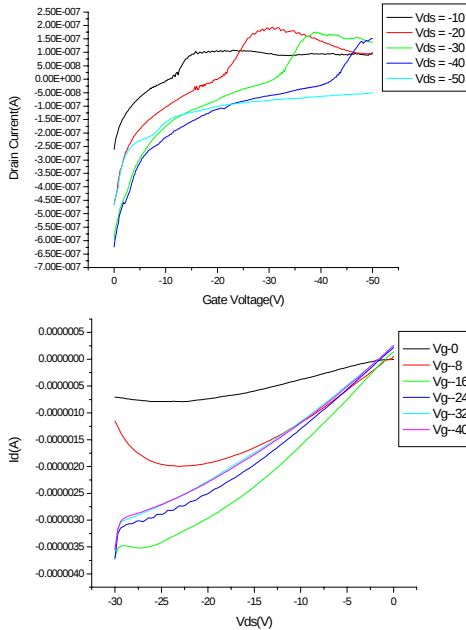


그림 28. 인쇄된 플로팅 게이트 트랜지스터 $I_{D-V_{DS}}$ 와 $I_{D-V_{GS}}$ 의 특성.

표 4. 인쇄 기술을 이용한 RFID Tag 제조 기술 수준

플라스틱 RFID Tag 주요부품 요소	세계수준	국내 수준
발진칩 및 RF Interface 인쇄 기술	· 120 kHz 수준 · 초보적 RF 인터페이스 인쇄기술 확보	· 60 kHz 수준 · 인쇄를 이용한 RF 인터페이스 기본 단위소자 제조기술 확보
안테나 인쇄 및 설계 기술	· 그래비아 인쇄를 이용한 MHz~GHz 영역 설계 및 제조	· 잉크젯 및 그래비아 인쇄를 이용한 MHz~GHz 영역 설계 및 제조
메모리 인쇄 및 설계 기술	· 유기 TFT를 이용하여 현재 6bit 시연함	· 메모리용 플로팅 게이트 트랜지스터를 100% 인쇄방식으로 제조가능

쇄 방법으로만 제조된 260 kHz 영역의 단순한 RFID tag를 시연하였으나, 저장 정보가 아직까지는 바코드를 대체할 만한 수준은 아니다. 전 세계적으로 전망하기는 2008년 초저가의 플라스틱 RFID tag 상용화가 가능할 것으로 전망하고 있다. 현재 100% 인쇄기술을 이용한 플라스틱 RFID tag 기술 수준을 분석한 결과를 표 4에 도시하였다.

본 연구는 순천대학교 RRC센터와 (주)파루의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사합니다.

참고문헌

1. K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, WILEY, England, 2004; P. Harrop, "The Market for Printed Electronics," *Electronics USA 2005*, Naples, FL., U.S.A., Dec. 6-9, 2005.
2. P. Harrop and D. Lawrence, "Printed Electronics Masterclass", *Electronics USA 2005*, Naples, FL., U.S.A., Dec. 6-9, 2005.
3. A. Hudd and M. Wills, "Ink Jet Technology Masterclass", *Electronics USA 2005*; A. Hudd and M. Wills, "ink jet Technology Masterclass", *Electronics USA 2005*, Naples, FL., U.S.A., Dec. 6-9, 2005; S. Nondlider, "Polymer electronics for reel to reel production", *Electronics USA 2005*, Naples, FL., U.S.A., Dec. 6-9, 2005; T. Linder, "Printed Electronics-HP's Technology beyond Ink on Paper", *Electronics USA 2005*, Naples, FL., U.S.A., Dec. 6-9, 2005.
4. G. Cho, J. H. Song, and B. I. Lee, "aqueous Inkjet Inks for the fabrication of wires and Electronics", unpublished results.
5. H. Lee, K. Chou, and K. H. *Nanotechnology*, **16**, 2436- 2441 (2005).
6. J. Song, *et al J. Am Chem. Soc.*, **123**, 10397-10398 (2001).
7. G. Cho, M. H. Jung, and H. T. Yang, "All Plastic Inkjet Printed Ring Oscillator with high frequency", unpublished results.
8. R. J. Kline, M. D. McGehee, E. N. Kadnikova, J. Liu, J. M. J. Frechet, and M. F. Toney, *Macromolecules*, **38**, 3312 (2005).
9. C. D. Dimitrakopoulos and D. J. Masearo, *IBM J. Res. A Dev.*, **1**, 11 (2001).
10. W. Fic, A. Ullmann, D. Zipper, and W. Clemens, "Fast and stable polymer electronic circuits", *SPIE's 48th Annual meeting* (2003).
11. W. Clemens, W. Fix, J. Ficker, A. Knobloch, and A. Ullmann, *J. Mater. Res.*, **19**, 1963 (2004).
12. A. Bernds, W. Clemens, W. Fix, M. Lorenz, and H. Rost, U.S. Patent 6, 903, 958B2 (2005).
13. R. Aberg, "Printed non Volatile random access memory", *Electronics USA 2005*, Naples, FL., U.S.A., Dec. 6-9, 2005.
14. G. Cho. and S. Kim, "All Inkjet Printed Floating Gate Transistors and Flash Memory from Them" unpublished results.