

Roll to Roll (R2R) 인쇄 RFID Tag 개발 현황

조규진 교수 (순천대 화학공학과/WCU 인쇄전자공학과) | 노진수 교수 (순천대 WCU 인쇄전자공학과) | 정민훈 선임연구원, 김재영 수석연구원 (파루 인쇄전자연구소)

1. 서론

21세기의 국가경쟁력은 국가가 유비쿼터스 사회로써 얼마만큼의 체제를 갖추었는가에 의해 좌우될 것으로 보인다. 따라서 유비쿼터스 사회의 가장 중요한 핵심요소인 RFID기술 수준은 곧바로 한 국가의 경쟁력을 좌우하는 중요한 기준요소가 될 것으로 본다. 그 이유를 생각해 보면 다음과 같다. 진정한 유비쿼터스 사회의 구현은 모든 물품이 자체의 RFID를 가지고 실시간 무선으로 정보를 주고받을 수 있어야 한다. 이와 같이 모든 물품에 RFID를 부착하려고 하면 RFID태그당 가격이 10원 이하가 되어야 하며, 태그당 10원 이하의 13.56 MHz, UHF 그리고 2.45 GHz의 RFID태그를 제조하고 이들을 이용하는 유비쿼터스 네트워크를 구축하는 기술은 RF소자 및 무선통신의 기본소자들을 기존의 Si 또는 무기 반도체에 기반을 둔 사진식각공정을 이용하여서는 실현이 불가능하기 때문에 전혀 새로운 개념의 IT기술을 요구하게 된다. 이러한 새로운 개념의 IT 제조기술에 기반을 둔 유비쿼터스 사회가 구현된 국가는 결국 현 모든 산업의 근간이 되는 IT경쟁력이 높다는 것을 의미하기 때문에 국가의 경쟁력이 높다고 할 수 있다.

현재 전 세계적으로 개발되고 있는 Roll to Roll (R2R) 인쇄전자기술은 기존의 사진식각공정을 대체 가능할 것으로 기대하는 전혀 새로운 개념의 IT생산 기술로써, 미세회로 및 소자구현을 화학약품을 사용

하여 식각하여 제조하는 공정을 적용하는 것이 아닌, 필요한 부분을 인쇄공정을 통하여 추가하는 공정이므로 제조에 필요한 에너지를 절감할 수 있으며, 환경오염 부산물이 없는 녹색기술이라고 할 수 있다. 또한 R2R인쇄공정을 통하여 초저가로 대량생산이 가능하도록 하는 기술로써 유비쿼터스 사회구현에 필수적인 태그당 10원 이하의 RFID태그 제조에 매우 적합한 기술이라고 할 수 있으며, RFID태그 뿐만 아니라, 휴대가 편리하며 자유롭게 힘이 가능한 초저가의 디스플레이, 휴대폰 및 컴퓨터까지 생산 가능한 기술이다.

이와 같이 혁명적으로 IT산업을 바꿀 수 있는 R2R 인쇄전자기술을 13.56 MHz 수동 RFID태그 제조를 중심으로 그 각각의 요소기술개발 현황을 살펴보는 것은 IT산업에 혁명적인 R2R인쇄전자기술이 향후 어떻게 기존의 한계기술들이 극복되어 실질적인 유

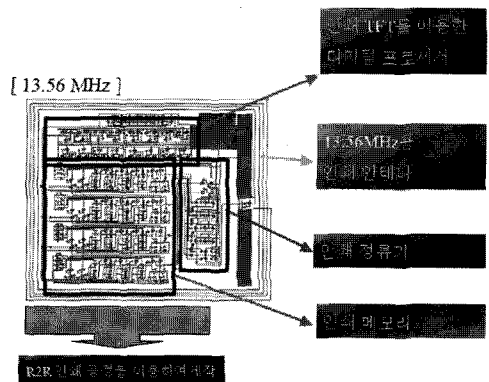


그림 1. 13.56 MHz 수동 RFID태그의 블록회로도



비쿼터스 사회를 이룰 수 있는 미래 IT기술로 성장 가능한지를 검토하는 좋은 기회가 될 것으로 본다.

금번 기획 논문에서는 그림 1의 회로도에 도시한 13.56 MHz 수동 RFID태그 (13.56 MHz RFID태그) 각각의 단위 소자들을 중심으로 어떻게 R2R인쇄전자기술이 개발되고 있는지를 전자 잉크, 플라스틱기판, R2R인쇄 장비 및 회로설계를 중심으로 현 기술 수준과 한계를 간단하게 정리하였다.

2. R2R인쇄 RFID태그용 잉크개발 현황

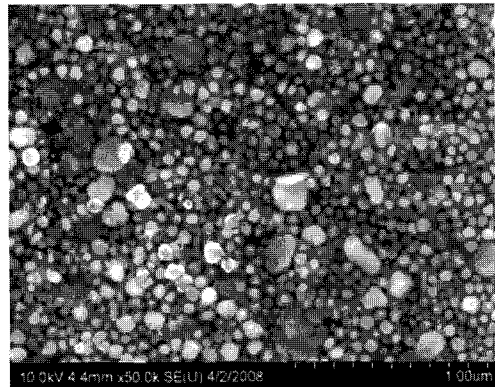
R2R인쇄 RFID태그용 잉크개발은 크게 도체 잉크, 반도체 잉크 및 유전체 잉크를 중심으로 개발되고 있으며, R2R인쇄를 하기 위해서는 적용하고자 하는 모든 잉크가 사용하는 플라스틱기판에 영향을 최소화 할 수 있는 150 °C 이하에서 건조 또는 소성되어야 하며, 실제적인 R2R인쇄 속도를 고려하면 5초 이내에 소성 또는 건조가 마무리 되어야 한다. 이때 열풍건조나 소성 대신 UV 또는 레이저를 이용하여 건조 또는 소성도 가능하다.

2.1 도체 잉크

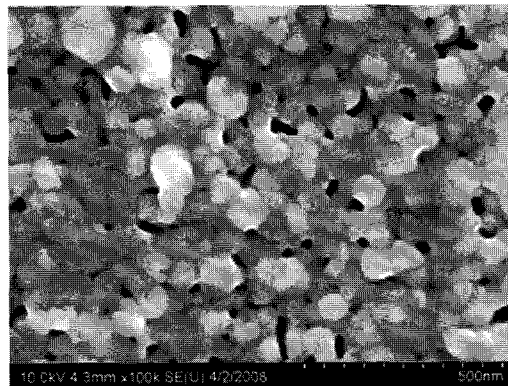
지금까지 개발된 R2R인쇄 RFID태그용 잉크는 주로 도체 잉크에 집중되어 있으며, 이들 도체 잉크들은 대부분 은 나노 입자 (5 nm - 100 nm)들을 고분자 바인더와 포물레이션한 점도 200 - 10000 cP의 잉크들이 상용화되어 있으며, 그림 2에 도시한 바와 같이 인쇄 후 짧은 소성시간을 거쳐 은 나노 입자들 간의 계면에서 퓨전이 일어나도록 하여 현재 별크한 은의 비저항보다 약 2배 높은 비저항을 지닌 도체 잉크도 상용화되어 있다. 이들 잉크를 이용하여 그림 3에 도시한 예와 같이 13.56 MHz 안테나를 R2R인쇄 시 Q 값이 최대 30까지 얻을 수 있는 결과들이 보고되어 있으며 [1], 매우 안정적으로 RFID태그의 전극들과 배선을 인쇄 속도 분당 12 m 수준으로 미세 선폭 20 μm까지 인쇄하는데 어려움이 없다. 그러나 RFID태그의 R2R전극인쇄를 위해서는 미세선폭 (< 20 μm) 구현보다는 무엇보다도 일정하게 파라불리한 인쇄 전극을 얻을 수 있도록 사용하는 플라스틱기판의 조

도 및 잉크 젖음성, 물의 압력, 인쇄 속도, 웹장력 등을 잉크의 점도 및 표면 장력 유연화 등과 연계한 최적의 R2R인쇄조건을 확립하는 것이 가장 중요하다.

지금까지 개발된 은 나노 입자에 기반을 둔 도체 잉크는 초저가의 RFID태그 제조에 있어서 가격의 상당 부분을 차지하게 되어 보다 저렴한 도체 잉크 개발이 진행되고 있으며, 주로 구리 나노 입자에 의한 도체 잉크개발이 추진되고 있으나, 구리 잉크의 대기조건에서 소성 시 산화를 최대한 억제하는 기술의 개발이 시급하다. 또한 저가의 전도성 고분자와 금속 나노입자를 혼용한 잉크 개발도 진행되고 있으나 아직은 이들 모두 기존의 은 나노 입자에 기반 한 도체 잉크를 대체하기에는 부족하다.



(a)



(b)

그림 2. R2R 그라비아인쇄 직후의 은 나노 잉크표면 SEM사진 (a)과 150 °C 소성 후의 은 나노 잉크표면 SEM사진 (b).

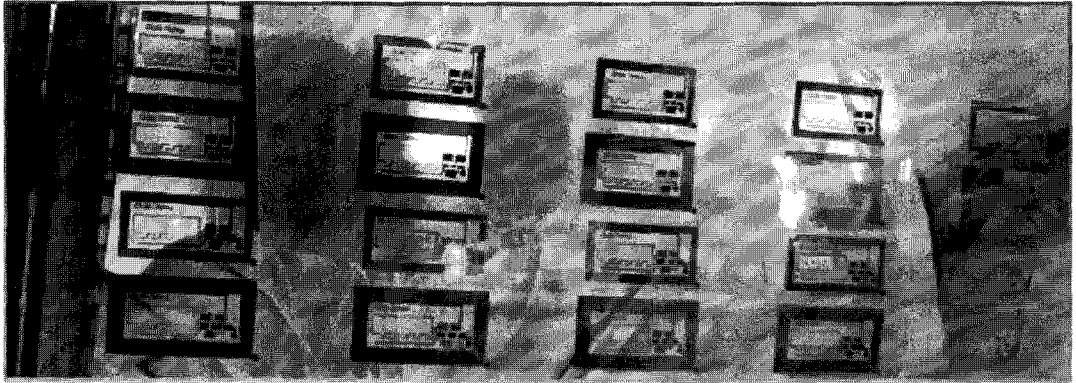


그림 3. R2R 그라비아인쇄한 13.56 MHz RFID태그 안테나 및 전극.

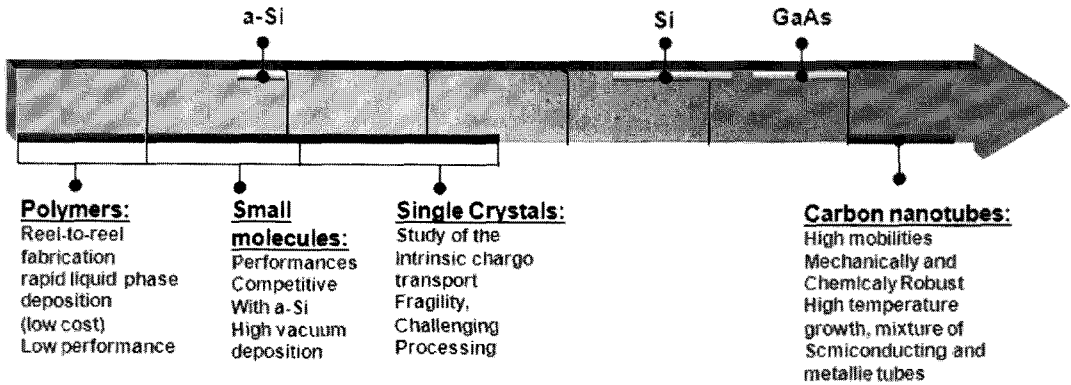


그림 4. 반도체 종류별 전하이동도 표.

2.2 반도체 잉크

반도체 잉크는 그림 4에 도시한 바와 같이 전하이동도를 기준으로 분류할 수가 있다. 일반적으로 고분자 반도체 물질들은 전하이동도가 $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이하이며 이들을 R2R인쇄를 통하여 플라스틱기판위에 박막트랜지스터를 제조하면 전하이동도가 $0.001 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이하로 얻어지는 것이 일반적이다. 반면 펜타센같은 단 분자를 증착하면 이동도 $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 수준도 플라스틱기판위에 얻을 수 있는 반면, 용액으로 인쇄하면 이동도가 일반적인 전도성 고분자 반도체 수준 이하로 나오게 된다. 이러한 용액공정을 용이하게 하기 위해 TIPS-펜타센 같은 물질이 합성되어 스프인코팅으로 박막트랜지스터 제조 시 이동도 $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 수준은 얻을 수 있는 것으로 보고되어 있다. n형 반도체 역시 아직까지는 수준이 이동도 $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이하를 용액공정으로 얻을 수 있는 기술이

보고되었으나 아직까지는 단일 벽 탄소나노튜브를 이용한 반도체 잉크가 R2R인쇄를 통하여서도 이동도 $6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 에 점멸비 10^4 정도를 얻을 수 있는 기술이 개발되어 있어 현재까지는 R2R인쇄 트랜지스터 제조에는 단일벽 탄소나노튜브가 아직까지는 최고의 반도체 잉크라고 할 수 있다 [2].

2.3 유전체 잉크

R2R인쇄 RFID태그 제조 시 가장 중요한 잉크라고 할 수 있는데, 그 이유는 사용하는 플라스틱호일의 표면조도를 커버하며 동시에 게이트전극과 드레인-소스 전극과의 쇼트를 0%로 막아주어야 하며 동시에 인쇄한 박막트랜지스터의 서브 쓰레쉬홀드 스윙 값이 0.1 V/Dec 이하로 나와 구동전압을 10 V 이하로 낮추어야 하기 때문에 유전체막이 $1 \mu\text{m}$ 이상의 후막으로 R2R인쇄되어야 하며 동시에 유전체 잉

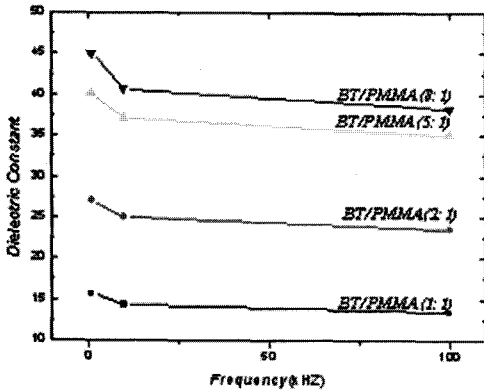


그림 5. 고분자 유전체와 고유전체 무기산화물 함량에 따른 주파수 영역별 유전상수 변화 결과.

크의 유전상수가 10 이상이 되어야 한다. 지금까지 유전상수 10 이상을 지닌 유전체 잉크는 고유전체 무기산화물 나노 결정입자를 고분자에 혼합하는 형태로 개발되었으며, 대표적인 결과를 그림 5에 도시하였다. 그러나 유전상수가 10 이상이면 저주파구동의 박막트랜지스터는 문제가 없지만 고주파구동의 박막트랜지스터는 심한 지연현상이 일어나게 된다. 결국 유전체 잉크는 고분자 이미드계열에 유전상수 2-4정도에 R2R인쇄 후 두께가 300-500 nm 수준을 유지할 수 있어야 한다.

3. R2R인쇄 RFID태그용 기판개발 현황

3.1 플라스틱기판

R2R 인쇄 RFID태그용 플라스틱기판으로 현재 가장 적합한 것은 가격이나 물리적 특성을 고려하면 그림 6에 도시한 PET호일이 플라스틱 중에는 가장 적합하다. 그러나 현재로서는 R2R인쇄 후 150 °C 이하에서의 가열로에서 소성 및 건조에 의한 열팽창과 가열로를 통과한 후의 온도 강하에 의한 수축 등에 대한 연구가 매우 미진한 상태이다. 또한 표면의 잉크에 대한 젖음성을 코로나 처리 또는 플라즈마 처리를 통해 제어하는 기술과 PET 표면 조도 제어에 관한 연구도 보다 깊이 진행되어야 할 것으로 본다. 현재까지는 듀폰 텐진필름에서 공급하는 PET필름이 가격과 열팽창 및 조도면에서는 제일 적합한 것

으로 사료된다.

3.2 종이기판

R2R인쇄 초저가 RFID태그 제조를 위해 기판의 가격측면에서 가장 적합한 소재이나, R2R 전자인쇄에 적용하기 위해서는 앞서 언급한 PET필름과 같이 열변화에 의한 수분변화에 기인하는 수축팽창에 관한 연구가 선행되어야 한다. 또한 표면의 조도 및 모세관현상을 어떻게 제어해야 할 것인지도 같이 연구되어야 할 것으로 본다. 현재 스웨덴의 Acreo에서는 종이에 전기변색 (Electrochromic) 디스플레이 소자를 R2R인쇄하고 있으며, 국내의 (주)파루와 순천대 컨소시엄에서도 그림 7에 도시한 바와 같이 RFID태그를 종이위에 R2R그라비아인쇄를 통하여 인쇄하는 기술이 개발되어 있다.

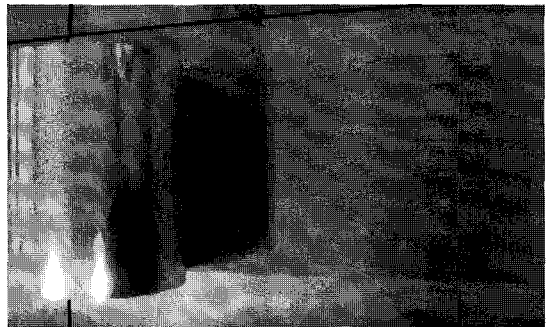


그림 6. R2R인쇄를 위한 상용화된 PET를.

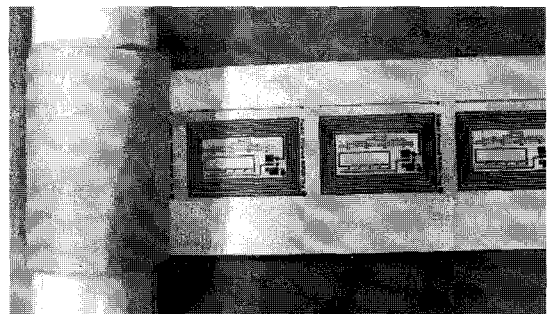


그림 7. R2R그라비아인쇄를 통해 종이위에 인쇄한 RFID태그 안테나 및 전극.

4. 인쇄 RFID태그용 R2R인쇄 공정개발 현황

초저가 RFID태그 제조를 위한 R2R인쇄 공정개발은 현재 그라비아, 옵셋, 플렉소, 나노 임프린팅, 잉크젯 등의 방법을 이용하여 분당 최소 10 m 이상의 인쇄 속도에서 얼마나 중첩정밀도를 정확하게 제어할 수 있는가에 초점이 맞추어져 있다. 현재까지 알려진 최고의 중첩정밀도는 분당 8 m의 속도에서 인쇄방향으로 48 um, 인쇄방향과 수직방향으로 10 um다. 그러나 96 bit의 13.56 MHz RFID태그를 명함 크기보다 작은 크기로 인쇄하기 위해서는 R2R인쇄 트랜지스터의 CD가 50 um 이하가 되어야 하며, 이를 위해서는 인쇄방향의 중첩정밀도 5 um 이하 그리고 인쇄방향에 수직방향으로 1 um 이하가 확보되어야 한다. 또한 전극의 인쇄선폭은 50 um 수준이면 가능할 것으로 예상된다. 이러한 목표들을 가지고 지금까지 전 세계적으로 개발된 R2R인쇄 장비의 공

정기술 수준을 표 1에 도시 하였다.

5. R2R 인쇄 RFID태그 회로 설계 현황

기존 Si기반의 CMOS회로에 기초하여 96 bit 트랜스폰더회로를 설계하면 약 3000-6000개의 박막트랜지스터를 필요로 하며 이는 현 R2R인쇄기술로는 명함크기의 13.56 MHz RFID태그 크기에 집적화시킬 수 없기 때문에, 동기회로가 아닌 비동기회로를 이용하여 96 bit의 신호를 600개 미만의 박막트랜지스터로 구현 가능하여야 한다. 이때 사용하는 회로의 트랜지스터는 현재 모두 p-형트랜지스터이기 때문에 가능한 한 전원소비를 최소화하며 동시에 일정하지 않은 인쇄트랜지스터를 수용할 수 있는 창의적인 아이디어 및 회로설계가 필요하다. 이와 같이 새로운 개념의 Philips에서 개발한 64 bit 13.56 MHz 트랜스폰더회로를 한 예로 그림 8에 도시하였다.

표 1. 국내외 R2R인쇄 공정기술개발 현황.

RFID태그 제작을 위한 인쇄공정 및 장비기술개발					
대분류	소분류	보유기관	책임자	기술내용	한계
인쇄공정/ 장비	잉크젯 인쇄	Xennia	Alan Hudd	5 um 손폭	Roll to Roll
		Dimatix Fuji	Martin Schoeppler	1 pl 헤드 정밀도	Roll to Roll
		PixDro	Dror Mulem	5 um 손폭	Roll to Roll
		Xaar	John Affard	메모리 소자 인쇄응용	Roll to Roll
		유니젯	김석순	R2R 적용	정밀도
	Roll-to -Roll 인쇄	Rochester 공대	Brace Kahn	플렉소 형식을 이용 Polyaniline 재질에 Chemical Vapor Sensor를 패터닝	
		Panipol		OFET (농동소자)를 프린팅	고분자
		Cintelliq		RFID Tag용 Organic Semiconductor 제작연구	
		VTT	Jukka Hast	교환가능한 4도 인쇄	중첩도/속도
		PolyIC	Wolfgang Mildner	혼용 3도 인쇄	중첩도/속도
		Northfield		Web 이송장비	
		MAN Roland		혼합 R2R 저급의 수동/농동 소자	중첩정밀도 인쇄 속도
		CTT		R2R 잉크젯	인쇄 속도
		ITI		R2R 잉크젯	인쇄 속도
		미쯔비시		미디어 인쇄	전자소자인쇄적용
		Toray		미디어 인쇄	전자소자인쇄적용
		KOMORY		Roll 인쇄 장비기 미디어 인쇄 Web	전자소자인쇄적용
		KBA		Roll 인쇄 장비 미디어 인쇄	전자소자인쇄적용
		기계연구원	김동수	그라비아 옵셋	중첩정밀도
		건국대	신기현	대규모 시스템의 실시간 제어	전자소자적용
순천대/파루 컨소시엄	조규진/김재영	4 bit RFID Tag 인쇄	중첩정밀도		

6. R2R인쇄 RFID태그 개발 현황

R2R인쇄 RFID태그관련 요소기술 및 소재들의 개

발 현황을 표 2에 정리하였다. 현재까지의 개발수준은 전 세계적으로 국립순천대-파루의 컨소시엄과 PolyIC에서만 현재 13.56 MHz 구동 4bit RFID태그를 제조하는 기술을 확보했다고 보고하였다. 마지막

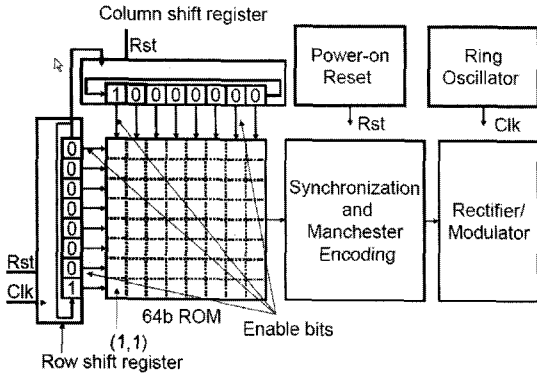


그림 8. Philips의 64 bit 트랜스폰더회로.

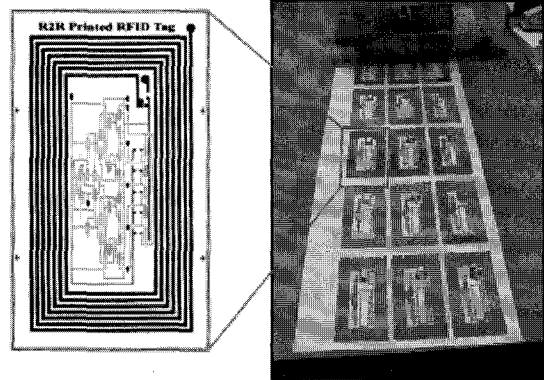


그림 9. R2R인쇄 13.56 MHz 구동 4 bit RFID태그.

표 2. R2R 인쇄 RFID태그 제조기술 현황.

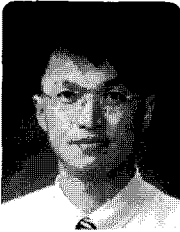
소기술		100% 인쇄 RFID태그 생산기술 수준		
		국내		국외
전자 잉크	도체 잉크	가격	120만원 / Kg	160만원 / Kg
		전도도	동박의 2/3	동박의 2/3
		소성온도	150 °C ~ UV	150 °C ~ UV
		소성시간	5초	5초
	반도체 잉크	전하이동	~5 cm ² / Vs	~1 cm ² / Vs
	유전체 잉크	유전상수	~10	~4
	평탄화 잉크	평탄화정도	~9 nm	~10 nm
인쇄기술 (IC)	안테나인쇄	R2R	확보	확보
			13.56 MHz, 900 MHz, 2.45 GHz	13.56 MHz, 900 MHz, 2.45 GHz
	배선인쇄	선폭	20 μm	20 μm
		R2R	확보	확보
	전극인쇄	채널길이	100 μm	200 μm
			R2R	확보
반도체인쇄	R2R	가능	개발 중	
절연층인쇄	두께	1 μm	개발 중	
		R2R	확보	가능
회로 설계 기술	안테나설계	확보		확보
	베모리설계	CMOS 기초		독자기술
	정류기설계	다이오드 13.56 MHz		13.56 MHz (중착)
	프로세서	4 bit (R2R인쇄)		128 bit(테모 (포토리소))
회로설계 측정 및 평가 기술	13.56 MHz	CMOS 기초		확보
	900 MHz	CMOS 기초		확보
	2.45 GHz	CMOS 기초		확보

으로 국립순천대-파루 컨소시엄에서 공개한 R2R인쇄된 4 bit RFID 태그 예를 그림 9에 도시하였다.

참고 문헌

- [1] N. Lin, J. Kim, S. Lee, N. Kim, G. Gho, "Screen Printed Resonant Tags for Electronic Article Surveillance Tags," IEEE Trans. Advanced packaging, vol. 32, pp. 72-76, Feb. 2009.
- [2] M. Jung, J. Kim, J. Noh, N. Lim, C. Lim, K. Lee, J. Kim, H. Kang, K. Jung, A. Leonard, J. M. Tour, G. Cho, "All Printed and Roll-to-Roll Printable 13.56MHz Operated 1-bit RF Tag on Plastic Foils," IEEE Trans. Electron Device (Accepted).

저자|약력



성명 : 조규진

- ◆ 경력
 - 1996년 - 현재 순천대 화학공학과 교수
 - 2005년 - 현재 RIC 센터장
 - 2009년 - 현재 WCU(인쇄전자공학과) 교수



성명 : 노진수

- ◆ 학력
 - 2002년 조선대학교 전자공학과 공학사
 - 2004년 조선대 대학원 전자공학과 공학석사
 - 2007년 조선대 대학원 전자공학과 공학박사

- ◆ 경력
 - 2007년 - 2008년 UNSW Post-doc
 - 2009년 - 현재 순천대 WCU 연구교수



성명 : 정민훈

- ◆ 학력
 - 2004년 순천대 화학공학과 공학사
 - 2006년 순천대 대학원 화학공학과 공학석사

- ◆ 경력
 - 2005년 라이스대 교환연구원
 - 2005년 - 2008년 (주) 파루 연구원
 - 2008년 - 현재 (주) 파루 선임연구원



성명 : 김재영

- ◆ 학력
 - 1996년 한국항공대 항공전자공학과 공학사
 - 1998년 한국항공대 대학원 항공전자공학과 공학석사
 - 2004년 한국항공대 대학원 항공전자공학과 공학박사

- ◆ 경력
 - 2007년 - 현재 (주)파루 인쇄전자연구소 수석연구원

