

Printed RFID 기술

Printed RFID Technology

IT 융합 · 부품 기술 특집

유인규 (I.K. You)	융합부품기술전략팀 책임연구원
구재본 (J.B. Koo)	유기전자소자팀 선임연구원
이유경 (Y.K. Lee)	시스템통합기술연구그룹 그룹장
조경익 (K.I. Cho)	IT부품 · 소재연구본부 본부장

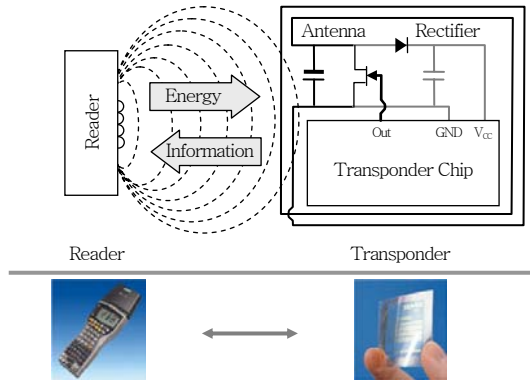
목 차

-
- I . 서론
 - II . Printed RFID?
 - III . Printed RFID 국내외 연구동향
 - IV . 13.56MHz Printed RFID 한계 기술 및 극복 방안
 - V . 결론

Printed RFID는 반도체 성질을 띤 유기물의 발견 및 유기물의 메모리소자로의 활용 등에 대한 연구가 이루어지면서 관심을 가지게 되었다. 유기물이 무기물에 비해 소재의 안정성 등 여러 가지 한계를 갖고 있음에도 전자소자로의 활용을 모색하고 있는 것은 저가격, 대량생산이 가능하다는 데 있다. 유기물을 이용하여 우선적으로 산업화가 진행 될 것으로 판단되는 분야가 프린팅방법을 이용한 RFID에의 응용이다. Printed RFID는 저렴한 폴리머 소재를 이용하여 저가격, 대량 생산이 가능하고 생산시 그 수요도 다양 할 것으로 보고 있다. 본 기고문에서는 printed RFID의 기술발전 동향, 제조방법, 시장 전망, 한계기술 및 극복방안에 대하여 기술하고자 한다.

I. 서론

RFID 기술은 마이크로 칩과 안테나가 내장된 tag를 사물에 부착하고, radio frequency wave를 이용하여 사물과 reader 사이의 데이터 통신을 가능하게 함으로써 사물(물품)의 내역 확인, 이송 경로 추적 및 실시간 이력 관리 등을 할 수 있는 기술이다. (그림 1)에서 볼 수 있는 바와 같이 안테나는 RFID tag에 에너지를 제공하고 RFID tag는 reader 기의 안테나에 정보를 주고 받는 기능을 수행한다. 최근에 Si 기반 RFID를 대체할 기술로 유기물 기반의 printed RFID가 주목을 받고 있다(그림 1) 참



<자료>: Walter Fix(PolyIC), 2005.

(그림 1) RFID 개요도

조). Printed RFID에서 핵심적인 기술은 유기 반도체 박막 트랜지스터(OTFT) 기술이다. 고분자 소재를 포함한 유기 반도체와 유기 메모리는 용매에 녹고, 온도를 높여도 솔벤트만 증발하고 그 전기적 특성을 유지하는 특성을 갖는다. 유기 반도체와 메모리로 대변되는 유기 소자는 저온에서도 결정화가 가능하고 안정된 구조적 특성을 유지하여 인쇄방식을 이용한 대면적 roll-to-roll 공정이 가능한 장점을 갖는다[1]-[4].

II. Printed RFID?

1. 주파수 대역별 RFID

<표 1>은 RFID의 사용 주파수 대역에 따른 일반적인 특성들을 보여주고 있다. 저주파인 125kHz나 134kHz는 인식거리가 ~60cm 정도이고 환경에 의한 성능 저하가 거의 없는 특징이 있고, 고주파인 13.56MHz는 인식거리가 ~1m 정도이고, 저주파보다는 저가이며 짧은 인식거리와 다중 tag 인식이 필요한 응용 분야에 적합하고 현재 가장 많이 사용되고 있는 방식이다. 극초단파 대역인 860~960MHz는 인식거리가 ~8m 정도이고 IC 기술의 발달로 가

<표 1> 주파수대별 RFID 특성

주파수	저주파	고주파	극초단파	마이크로파	
주파수	125kHz, 134kHz	13.56MHz	433.92MHz	860~960MHz	2.45GHz
인식거리	~60cm	~1m	100m 이내	~8m	~2m
일반특성	<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 고가 • 환경에 의한 성능 저하 거의 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 저주파보다 저가 • 짧은 인식거리와 다중 태그 인식이 필요한 응용분야에 적합 • 현재 가장 많이 사용 	<ul style="list-style-type: none"> • 긴 인식거리 • 실시간 추적 및 컨테이너 내부습도, 충격 등 환경 센싱 	<ul style="list-style-type: none"> • IC 기술발달로 가장 저가로 생산 가능 • 다중태그 인식거리와 성능이 가장 뛰어남 • 앞으로 가장 많이 사용될 것으로 전망 	<ul style="list-style-type: none"> • 태그크기를 아주 작게 만들 수 있으나 금속 또는 액체 재질에서 인식률이 가장 떨어짐
통신방식	전자유도방식	전자유도방식	전파방식	전파방식	전파방식
동작방식	Passive	Passive	Active	Active/Passive	Active/Passive
적용분야	ID 카드, 이력관리	Item-tracking, 도서관리, ID 카드, 스마트 카드	컨테이너 관리, 실시간 위치추적	Item-tracking, 공급망 관리, 자동통행료 징수	여권, ID 카드
인식속도	저속				고속
환경영향	둔감				민감

장 저가로 생산 가능하며 다중 tag 인식거리와 성능이 가장 뛰어나 앞으로 가장 많이 사용될 것으로 전망된다. 또한 마이크로파 2.45GHz 대역은 ~2m 정도에서 인식 가능하고, tag의 크기를 아주 작게 만들 수 있으나 금속 또는 액체 재질에서 인식률이 가장 떨어지는 단점이 있다. 통신 방식은 저주파와 고주파에서는 전자유도 방식을 주로 사용하고 극초단파와 마이크로파에서는 전파방식을 사용하고 있다. 주파수가 높아질수록 고속 인식이 가능하고 소형화가 가능하지만 환경에 대한 민감도가 높아져 환경에 의한 특성 저하가 문제점으로 대두된다.

2. Printed RFID 특징

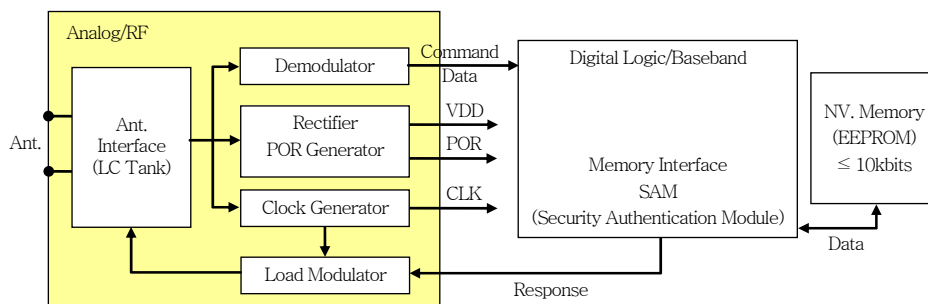
Printed RFID가 개발되고 있는 가장 큰 이유는 가격의 장점 때문이다. Si 단결정을 사용하여 고온, 고진공 및 리소그래피 방법으로 칩을 만들고 있는 Si 칩 기반 RFID에 비해 organic solution을 이용하여 프린팅이 가능한 printed RFID는 상대적으로 가격을 획기적으로 낮출 수 있을 것으로 기대하고 있다. 특히 Si-RFID tag는 substrate, tag IC, antenna가 packaging에 의해 부착되어야 하는데, organic RFID의 경우 roll-to-roll 공정이 가능하여 antenna와 tag IC를 기판 상에 동시에 형성 가능하기 때문에 packaging에 대한 비용을 대폭 절감할 수 있다.

Printed RFID가 저가격의 대량 생산의 장점을 가질 수 있는 이유는 다음과 같다. Printed RFID에 사용하고자 하는 유기 반도체는 낮은 온도에서 결정

화가 가능하므로 결정화 온도를 높일 필요가 없다. 따라서 구부림, 충격 및 대면적 roll-to-roll 프린팅 공정이 가능한 플라스틱 기판을 사용하여 트랜지스터를 제작할 수 있다. 유기물은 반도체뿐만 아니라 도전성 고분자, 절연체 등 전기적 특성이 폭넓게 존재하며 원하는 특성의 소재의 합성도 가능하다. 또한 폴리머 유기재료는 솔벤트에 잘 녹고, 솔벤트 증발 후에도 그 특성을 잘 유지하는 특성을 갖는다. 이러한 유기 소재들은 잉크와 같은 용액소재로 만들어 인쇄 등의 방법으로 원하는 전자회로를 제작할 수 있다.

RFID는 능동형(active)과 수동형(passive)으로 구분할 수 있다. 능동형은 배터리에서 전원 공급을 하고 tag에서 자체 RF 신호 송신(발신) 기능이 가능한 형이고, 수동형은 reader기의 전자 신호로 전원을 공급 받고 reader기의 신호를 변형 반사하는 형이다. 능동형은 장거리(3m 이상) 전송 및 센서와 결합이 가능한 장점이 있고, 이에 비해 수동형은 배터리가 없으므로 저가격 구현이 가능하고, 또한 배터리 교체 비용도 없다. 따라서 능동형은 환경 감시, 군수, 의료, 과학 분야에 주로 사용되고 수동형은 물류 관리, 교통, 보안 전자상거래 분야에서 주로 사용되는 특징이 있다.

Printed RFID의 개발은 수동형에서 능동형으로 단계적으로 개발되리라 사료된다. 이는 능동형에 필요한 프린팅이 가능한 전지의 개발과 아울러 능동형 printed RFID 시장성 확보에 따라 단계적으로 개발될 것이다. (그림 2)는 13.56MHz printed RFID의 블록 다이어그램이다. 암호화 인증 등의 기능이 포



(그림 2) 13.56MHz RFID 블록 다이어그램

함되는 printed RFID는 가까운 시기에 상용화되기는 어려워 보이나, 이를 제외한 바코드형의 RFID의 개발 상용화는 그리 멀지 않은 것으로 보인다. 현재 안테나 및 인터페이스 관련 기술, analog, digital circuit 및 memory 소자에 대한 연구는 현재 유기물 기반의 프린팅 방법을 이용하여 상당히 진행되고 있다.

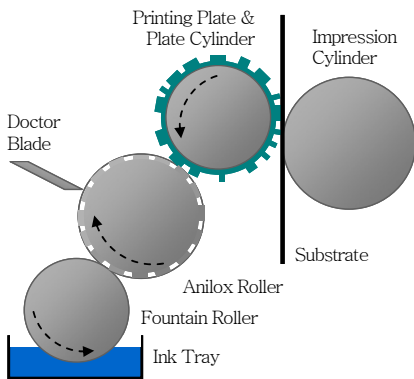
3. RFID 프린팅 기술

RFID 프린팅 기술은 집적도나 성능보다는 생산 비용과 대면적화가 중요하게 요구된다. 프린팅 기술은 그 특성상 고속 양산 가능한 미세공정 기술과 연속공정(roll-to-roll processing)이 가능하다. 프린팅 기술은 몇 가지로 나누어 생각할 수 있는데, 그 장단점을 <표 2>에 나타내었다. 몇 가지 중요한 프린팅 기술에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다.

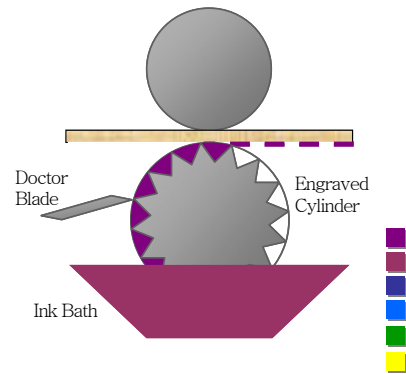
Flexographic printing((그림 3) 참조)은 다양한 상품 포장지 및 신문 인쇄 등에 널리 사용되는 방법이다. 인쇄방법상 전자소자에 적용하기에는 단점이 있는데, direct print의 경우 인쇄판의 resolution에 의해 printing resolution이 좌우되어 수십 μm 이하의 고해상도를 갖는 인쇄는 불가능하다. 다만 기관의 전처리 등을 통해서 이를 극복할 수 있을 것으로 생각된다. Gravure printing은 종이 이외의 피인쇄체에 인쇄하는 특수인쇄의 하나이다((그림 4) 참조). Gravure 제판으로 판을 만든 다음, 오프셋인쇄처럼 고무 블랭킷에 잉크를 일단 전이하여 간접적으로 피인쇄체에 인쇄하는 방식이다. Gravure printing은 flexographic printing과 아주 유사하며, 유일한 차이는 잉크를 전사해오는 roller와 printing plate가 하나로 통합되었다는 것이다. Gravure printing의 단점은 앞서 말한 flexographic printing과 유사하다. PolyIC는 flexographic 공정을 이용해서 RFID

<표 2> 여러 가지 Printing 방법의 특성

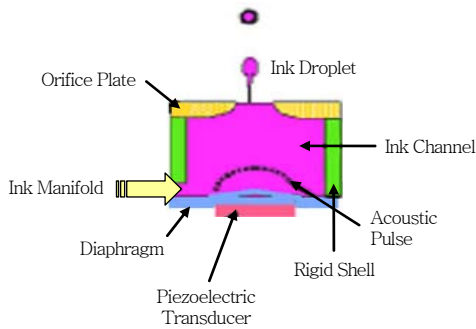
Printing technique	Thickness(μm)	Feature size(μm)	Throughput(m^2/s)	Registration(μm)	Features/Issues
Flexography	0.8~2.5	80	10	< 200	Wide range of substrates; medium quality
Gravure	0.8~8	75	60	> 10	Large run length; high quality
Offset	0.5~1.5	10~50	5~30	> 10	High quality; need for ink additives
Screen	30~100	20~100	2~3	> 25	Wide range of inks; medium quality
Inkjet	< 0.5	20~50	0.01~0.5	5~20	Digital data; local registration



(그림 3) Flexographic Printing



(그림 4) Gravure Printing



(그림 5) DOD Inkjet Printing

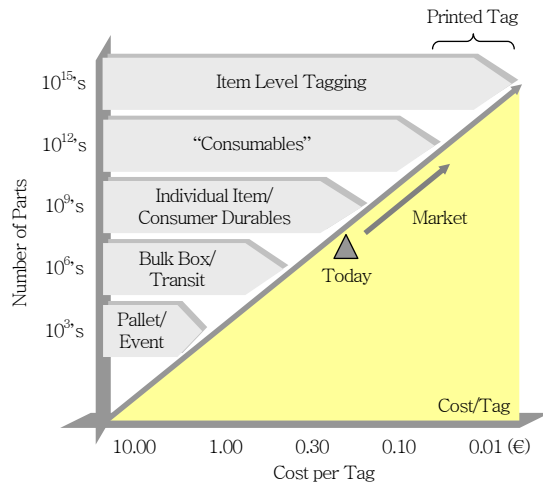
구현을 시도하고 있는 것으로 알려져 있다. Inkjet printing(그림 5) 참조)은 잉크방울을 기판 위, 원하는 위치에 패터닝을 하는 공정기술이다.

잉크젯 공정은 퍼짐(spreading), 튀김(splashing), 잉크방울 속도(drop velocity)의 변화 등으로 패턴의 resolution이 낮지만, 다른 공정에 비해 소재의 소모가 적은 이유로 꾸준히 공정개발이 이루어지고 있다. 특히 미세 전자소자 구현을 위해서 영국의 캠브리지대학은 잉크젯 공정을 이용하여 플라스틱 재료의 표면에너지 차이를 이용하는 방법을 사용하여 패터닝 기술을 개발하였다[5].

4. Printed RFID 시장전망

물류산업의 발달에 따라 물류의 이동이 대형 물품뿐만 아니라 소형 다품종에 이르기까지 물류관리의 필요성이 대두되고 있다. 이에 따라 저가격의 item-level tracking용 RFID의 개발이 요구되고 있는 실정이다(그림 6) 참조).

유기물을 이용한 RFID는 저가격의 대량생산이 가능한 긍정적인 면이 있지만, 현재의 기술수준과 개발되고 있는 기술의 속도를 고려하면 부정적인 측면도 있다. 우선 printed RFID의 긍정적인 측면을 살펴보면 안테나와 IC가 동시에 제작 가능한 점, 제품 packaging에 대한 직접 인쇄 가능성, 저렴한 플라스틱 기판 사용 가능성 등을 들 수 있다. 반면, 부정적인 측면으로는 핵심적인 재료의 수명 문제, 낮은 인식 속도 및 최대 인식 거리가 수 cm라는 사실 등 현재의 낮은 기술 수준과 느린 기술 개발 속도가

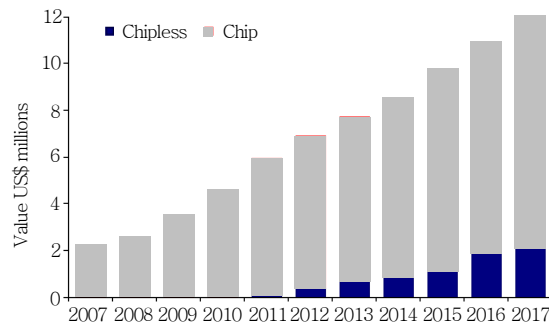


<자료>: Auto ID Center, 2005.

(그림 6) RFID 가격 민감도

문제점으로 지적되고 있다. 이러한 요인들은 예상보다 시장 진입 시기를 늦출 수 있다.

현재 시장에서 실리콘 기반의 태그는 약 20센트 정도로 실리콘 기반으로 제작된 태그는 5센트 이하로의 제작은 매우 어렵다. 5센트 이하의 RFID를 제작하기 위해서는 chipless RFID의 개발이 이루어져야 한다. Chipless item-level tracking용 RFID로 사용되기 위해서는 1센트 이하의 가격으로 제조되어야 하는데, 현재는 프린팅 방법을 사용한 organic RFID만이 1센트의 가격을 만족시킬 수 있을 것으로 사료된다. RFID 시장은 2010년 약 46억 달러, 2013년 약 77억 달러, 이 가운데 같은 해에만 chipless RFID가 약 7억 달러 정도를 차지할 것으로 보이고, 2017년에는 전체시장이 약 120억 달러



<자료>: IDTech, 2007.

(그림 7) RFID의 시장 동향(2007~2017)

로 성장하고, 그 가운데 chipless RFID 시장이 21억 달러에 이를 것으로 예측하고 있다(그림 7) 참조.

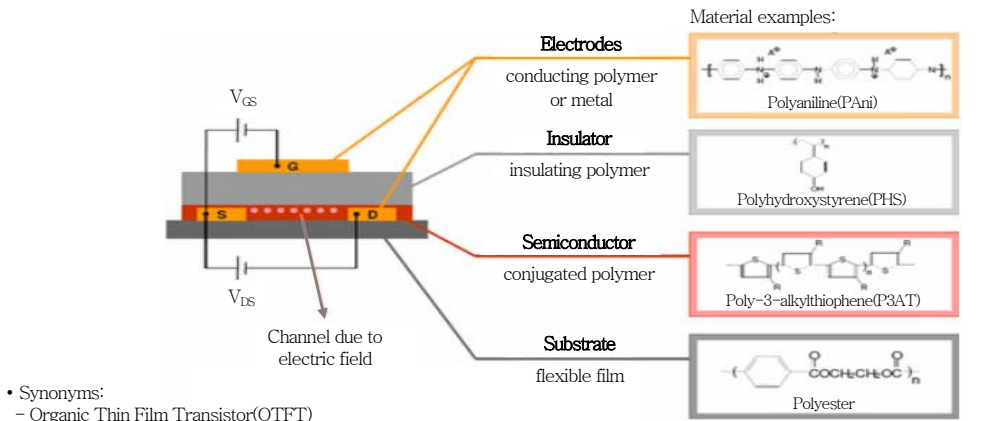
Ⅲ. Printed RFID 국내외 연구 동향

1. 국외 Printed RFID 연구 동향

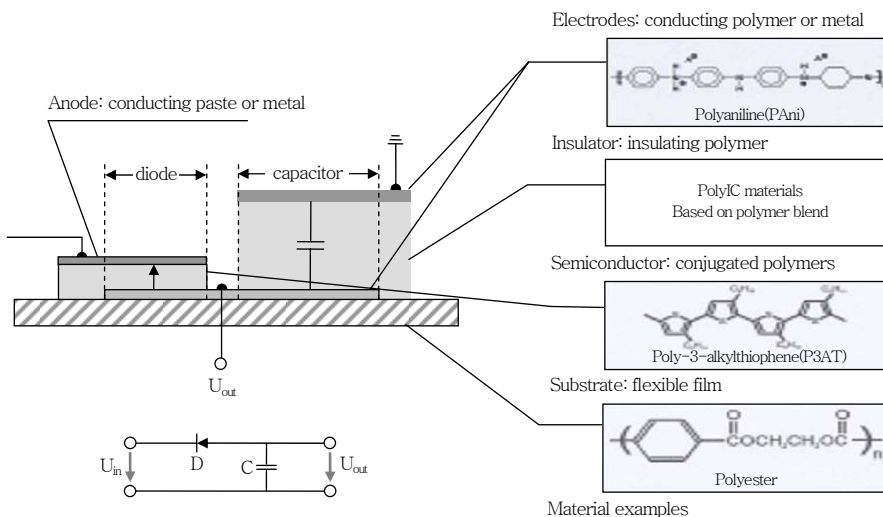
가. PolyIC사 기술 개발 동향

PolyIC사는 독일의 전자 회사 Siemens 지분

49%와 프린팅 회사 Kurz 지분 51%로 만들어진 벤처 회사이며, 세계에서 가장 활발하게 organic RFID를 연구 개발중에 있다. PolyIC가 제시하는 printed RFID 로드맵을 살펴보면 2005년에 demonstration 하고, 2006년에 프로토타입을 발표한 후, 2008년부터는 simple application 제품을 출시하고 2010년부터는 EPC에 맞게 13.56MHz의 96bit를 제품화 하여 item-level tracking에 대응한다고 하였다. (그림 8a)는 PolyIC사가 개발중인 PFET의 구조와 재료를 나타내고 있고, (그림 8b)는 정류회로에 쓰



(a) Polymer Field Effective TFT



(b) PolyIC의 Integrated Rectifier

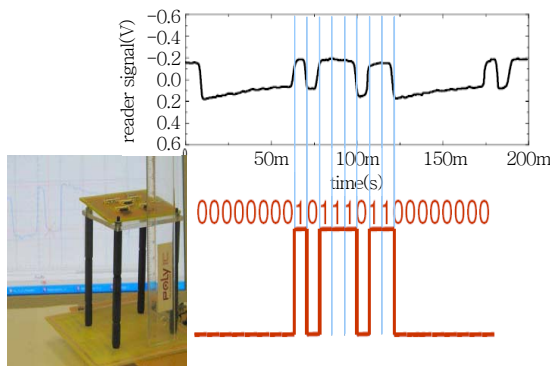
<자료>: PolyIC, 2005.

(그림 8) PolyIC Polymer 기반 소자

이는 다이오드와 커패시터의 구조와 재료를 나타내고 있다. 기판으로는 주로 polyester를 사용하고 소스/드레인 및 게이트 전극으로는 PAni 재료, 나노재료, 금속 등을 사용하고 있고 반도체 재료로는 polythiophene 계열의 P3AT를 주로 사용한다. 게이트 절연막 역시 PolyIC가 자체 개발한 polymer blend 기반의 재료, PHS이며 구조는 staggered TFT 이다. 정류회로에서 사용되는 다이오드는 Schottky diode 타입이다.

PolyIC의 polythiophene 계열 PTFT 소자는 mobility는 약 $0.02\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $I_{\text{on/off}}$ 는 10^5 이상, threshold voltage(V_{th})는 -4V , 그리고 subthreshold slope은 $2\text{V}/\text{dec}$ 이다. 이 특성은 10개월 후에도 degradation이 관찰되지 않을 정도로 stable 하다고 한다. PolyIC는 Schottky 타입의 rectifier를 13.56MHz 이상에서 AC가 DC로 변환되는 것을 확인하였고, input이 $\pm 15\text{V}$ AC 13.56MHz 일 때 output은 DC 6V 이상이다. 그런데 PolyIC 소자는 full printing 공정을 통해 제작된 것이 아니라 photolithography 공정이 추가되어 제작되었다. PolyIC가 2004년에 처음으로 제작된 printed ring oscillator는 1Hz 정도의 주파수가 얻어졌으나 최근에는 600kHz 이상의 ring oscillator도 보고한 바 있다[6].

2006년에 PolyIC는 7.5cm 인식거리를 가지는 8bit 13.56MHz RFID를 시연하였다. 이 시작품은 0.1sec 의 read time, 3개월 동안 초기특성이 유지



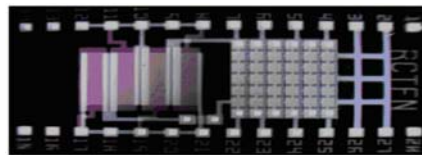
<자료>: PolyIC, 2006.

(그림 9) PolyIC의 8bit 13.56MHz RFID 시연

됨을 보여주었다(그림 9) 참조).

나. OrganicID사 기술 개발 동향

OrganicID는 직접인쇄법을 이용하여 주로 CMOS형 유기전자소자, RFID tag circuit 설계 등의 기술 개발을 하고 있다. 2006년에 CMOS형의 5-stage ring oscillator를 제작하여 3.2kHz 의 구동 주파수 특성을 보여주었다. 정류회로는 bridge 타입의 정류회로를 사용하였고 이를 이용해 $\sim 20\text{MHz}$ 까지 정류 특성을 보고하였다. 이 이외에도 CMOS 기반 D flip-flop을 제작하고 shift register를 제작하여 1.6kHz flop 특성을 보여주었다. RFID의 quality factor는 input 17.5V 에서 V_{DD} 10V 의 값을 나타내어 약 57%의 효율을 보였다(그림 10) 참조[7].

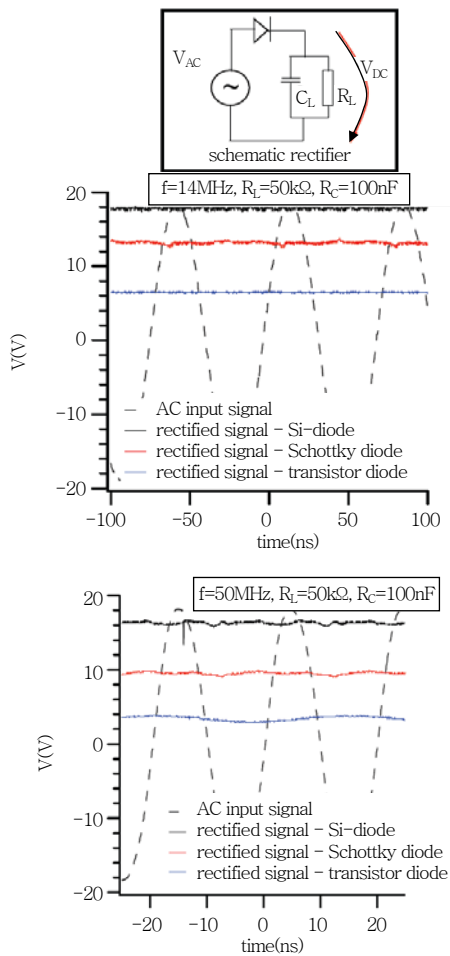


(그림 10) OrganicID RFID

다. IMEC사 기술 개발 동향

IMEC은 벨기에에 있는 반도체 기반 회사로 organic electronics에 대한 연구를 꾸준히 수행해 오고 있다. 특히 그들은 RF 신호를 받아 inductively coupling 시킨 후 AC를 DC로 정류하는 정류소자에 대한 특성을 주로 다루었다. 정류회로에 사용되는 다이오드에는 OTFT with shortened drain-gate 구조와 organic Schottky 다이오드 구조의 두 가지가 있다. 이 두 가지 구조의 특성을 비교해보면 일반적으로 organic Schottky가 차지하는 공간이나 특성면에서 우수하였다. Schottky contact 하는 전극 (Al)과 ohmic contact 하는 전극(Au) 사이에 organic semiconductor를 증착한 구조로 semiconductor의 두께가 매우 얇고, 또한 적당한 표면 처리를 하면 50MHz 까지 정류가 가능하다고 보고하였다.

(그림 11)은 IMEC사의 14MHz 와 50MHz 정류 특성을 보여주고 있다. 그들은 high purity를 가지는



(그림 11) IMEC사 Rectifier의 14MHz와 50MHz 정류 특성

pentacene을 이용하여 높은 SCLC mobility를 얻었고 polycrystalline morphology를 조정하여 높은 주파수에서 정류 특성을 얻을 수 있었다. (그림 8b)에 나타난 50MHz 정류 특성은 organic 재료를 이용한 가장 높은 주파수에 대한 특성을 보여주고 있다. 이 특성을 보면 RFID에서 13.56MHz 수신에는 전혀 기술적인 문제가 없는 것으로 사료된다.

2. 국내 Printed RFID 연구 동향

가. 경희대

경희대에서는 2005년 IDW 학회에서 이동도 $0.6\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $I_{\text{on/off}}=10^7$, $V_{\text{th}}=-5\text{V}$ 의 OTFT를 이용

하여 PMOS bootstrapped inverter 구조를 이용하여 11-stage pentacene ring oscillator를 발표하였다. Oscillator의 특성은 3~10.4kHz였고, $15\mu\text{s}$ delay time per stage를 나타내었다. Bootstrapped inverter를 사용한 것이 특징적인데, 일반적인 E-inverter type에 bootstrapped capacitor를 형성하여 $V_{\text{out high}}$ 의 값을 V_{DD} 로 내려 스윙폭을 좁게 하는 역할을 수행하게 하기 위해 적용하였고, 이 결과는 국내에서 발표된 organic circuit 중에서는 가장 좋은 특성이라 판단된다.

나. 순천대

순천대에서는 초저가 플라스틱 RFID tag 제조를 위한 플라스틱 IC 잉크젯 인쇄 기술을 주로 연구하는데, 2006년에는 P3HT를 이용하여 7개의 inverter로 구성된 발진칩을 사용하여 -60V에서 192kHz의 주파수 특성을 보여주었다[8].

IV. 13.56MHz Printed RFID 한계 기술 및 극복 방안

Printed RFID의 기술 개발은 크게 두 가지로 나뉘어 개발되고 있다. 첫번째는 antenna and interconnection 기술이고, 두번째는 active component 기술이다. 첫번째에서는 low resistance antenna printing 기술, high Q, high induced voltage 기술, capacitor의 주파수 안정성 기술들이 주로 다루어지고 있고, 두번째에서는 diode rectifier 기술, OTFT and inverter for ring oscillator and shift register 기술들이 활발히 연구되고 있다.

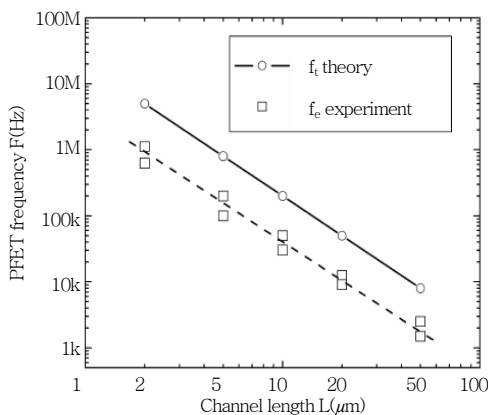
현재까지의 개발된 organic RFID의 기술 수준을 종합해보면 안테나와 연결된 rectifier 회로의 경우 IMEC사가 50MHz까지 성공하여 13.56MHz 수신은 가능해 보이나, logic clock frequency(주로 ring oscillator의 구동 frequency에 의해 결정됨)는 1MHz 이하의 수준이다. 이 정도의 값도 PolyIC사와 기타 연구소에서 photolithography 기술을 사

용하여 OTFT의 channel length를 $5\mu\text{m}$ 이하로 낮춘 경우나 얻어지는 것으로 아직 printing 방법을 사용하여 organic RFID의 특성을 확보하는 데는 적지 않은 노력이 필요하다. 아직까지 printed OTFT에서는 channel length를 물리적으로 $20\mu\text{m}$ 이하로 낮추는 것이 불가능하기 때문이다. 특히 잉크젯이나 기타 low cost printing 공정을 사용한 경우는 수 Hz 근처의 매우 낮은 구동 frequency 정도만 얻어지고 있는 실정이다.

이상의 결과들을 바탕으로 13.56MHz printed organic RFID 개발을 위해서 가장 중요한 문제는 logic clock frequency를 높이는 것과 저저항의 안테나 물질을 프린팅으로 형성하는 것이라고 할 수 있다. 첫번째로 ring oscillator의 구동 frequency를 높이는 것인데 $f = \mu V_{DD} / 2\pi L^2$ 에 의해 결정되므로 이동도를 높이는 동시에 channel length를 낮추는 것이 필요하다. $V_{DD} = 100\text{V}$, $L = 5\mu\text{m}$ 라고 가정하고 13.56MHz 구동을 위해서 요구되는 mobility는 약 $0.34\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 이나 실제로 13.56MHz 구동을 위해서는 이의 약 8배 이상인 약 $2\sim 3\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 의 이동도가 필요하다. 따라서 13.56MHz RFID 구현을 위해서는 $2\sim 3\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 이상의 이동도를 가질 수 있는 소재 및 sub-micrometer 정도의 channel length를 갖는 소자구조를 구현해야 한다(그림 12 참조)[9]. 두번째는 저항이 낮은 프린팅 가능한 재료를 개발하

여 이를 안테나 설계에 맞게 공정하는 것인데, 현재 세계 각국에서 활발히 연구되고는 있으나 13.56MHz 구동에 적합한지에 대해서는 보고된 바가 거의 없다.

현재의 organic RFID 기술 수준을 단적으로 말해주는 결과는 2005년 MRS Fall meeting의 BASF의 결과이다[10]. 그들은 integrated transistor circuit 제작을 위해 mass printing 기법을 사용하였다. Screen printing, pad printing, 그리고 잉크젯을 사용하여 7-stage ring oscillator를 제작하였는데 frequency는 48V 에서 1.2Hz 의 낮은 특성을 보였다. 유기반도체는 F8T2를 사용하였고, 게이트 절연체는 low k인 hydrogenated polyolefine과 high k인 Luxprint(BaTiO_3 paste)를 사용하였고, 게이트 전극과 소스/드레인 전극은 PEDOT을 사용하였다. F8T2를 spin coating한 경우에 이동도가 $4 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $I_{\text{on/off}}$ 가 2700 정도였고, gravure printing한 경우는 이동도가 $1.2 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $I_{\text{on/off}}$ 가 510 정도였다. 그들은 저가격의 대량 생산 가능한 프린팅 기법을 사용한 것으로 반도체의 이동도가 낮고 또한 overlap 정밀도가 떨어지는 프린팅 기법을 사용했기 때문에 주파수가 매우 낮은 것으로 판단된다. 즉 일반적으로 유기반도체를 이용한 RFID에의 응용이 저가격의 프린팅 기술로 가능할 것으로 많은 사람들이 믿고 있지만, 반도체의 이동도를 획기적으로 높인다거나 프린팅의 position accuracy를 높여서 layer to layer overlap을 감소시켜 기생 커패시턴스를 줄이지 않고는 높은 주파수의 circuit 제작이 불가능한 것으로 판단된다. 이 결과는 현재 full 프린팅으로 제작할 수 있는 organic RFID의 현주소라고 생각된다. 이밖에 회로집적을 생각할 때 고려해야 할 것이 signal propagation delay가 있다. 일반적으로 channel length가 $250\mu\text{m}$ 이하로 떨어지게 되면 트랜지스터의 성능은 각 signal propagation delay에 더 많은 영향을 받게 된다. 즉 인터커넥트 설계와 트랜지스터 집적화 설계의 중요성이 매우 커지게 된다. 유기전자소자를 이용한 전자기지에서 metal line이 길어지고 폴리머와 금속의 접촉면에서의 물리적 확산 등의 문제로 신호전달 속도가 길어



(그림 12) Polymer FET의 채널 길이와 주파수

지는 경향이 발생한다. 이러한 물성을 좌우하는 요소들에는 트랜지스터의 채널길이, 소스/드레인 전극과 게이트 전극과의 overlap, 게이트 절연층의 유전율, 유기 반도체 소재의 carrier mobility, contact 저항, electrical leakage 및 기타 산소나 습도들의 환경적 요인들이 작용한다.

(그림 13)은 organic 로직소자의 propagation delay를 나타낸 것이다. Ring oscillator frequency, f_o 는 delay time과 stage의 수의 함수 $f_o = 1/(\text{delay time} \times \text{stage} \times 2)$ 와 같이 표현된다. 13.56 MHz를 구현하기 위해서는 delay time이 ~수 nsec 이하여야 한다. 또한 working voltage V_{DD} 는 최대 10V 이하여야 한다. IMEC은 전통적인 리소그래피(non-printing) 방법을 사용하여 organic ring oscillator를 제작하였는데, $V_{DD}=7V$ 에서 propagation delay $\sim 4 \times 10^{-6}$ sec 정도의 값을 보이고 있다.

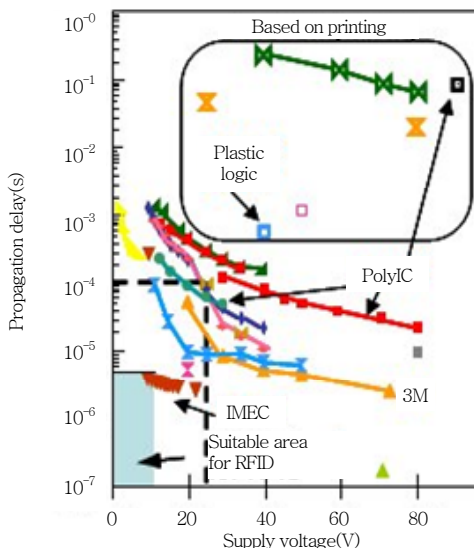
반면 Plastic logic사는 printing 방법으로 oscillator를 제조하여 특성을 측정하였는데, $V_{DD}=40V$ 에서 propagation delay가 약 8×10^{-4} sec 정도의 값을 가짐을 보여주고 있다. 최근에 캠브리지대학 Cavendish lab.의 Siringhaus 교수그룹은 잉크젯 방법을 이용하여 sub-micron meter의 channel

length를 구현하는 방법을 제시하였는데, self-aligned printing 방법인 이 방법은 기존의 e-beam lithography나 photo 공정을 사용하지 않고 sub-micron channel length 구현 가능성을 제시하였는데 의의가 있다.

V. 결론

Printed RFID 기술은 photolithography 방법을 적용하여 short channel을 형성하고 pentacene과 같은 고이동도의 물질과 높은 V_{DD} 를 채택할 경우 ~600kHz 정도까지는 발진되는 것으로 확인되었다. 하지만 full printable organic RFID는 frequency가 아직 ~수백 kHz를 불안정하게 구현하는 정도이다. 이러한 현실적 어려움에도 불구하고 13.56MHz printed RFID는 item-level tracking이 가능한 소량 다품종의 제품들에 사용될 것으로 보인다. 이는 item-level tracking용으로 저가격의 RFID에의 요구가 필요 불가결하기 때문이다. 개당 1센트 정도의 수준으로 생산하지 못할 경우 item-level tracking RFID 시장의 앞날은 불확실하다.

이상에서 살펴본 바와 같이 printed RFID에서 가장 핵심적인 logic clock frequency를 높이기 위해서는 ① short channel OTFT 특성 확보, ② 고이동 특성 확보, ③ 저전압 구동 확보 등이 필수적이라 할 수 있다. 그리고 이런 특성들이 진공 장비를 사용한 특성이 아닌 값싼 전통적인 프린팅 공정과 roll-to-roll이 가능한 공정에서 얻어져야만 printed RFID를 연구 개발하는 의미를 찾을 수 있을 것으로 사료된다.



<자료>: IMEC, 2007.

(그림 13) Propagation Delay of Organic Circuit

● 용어해설 ●

유기전자소자: 반도체, 도체 및 절연체 특성을 갖는 유기물을 이용한 전자소자

Printed RFID 기술: RFID tag의 안테나, 디지털, 아날로그 회로 및 메모리 등을 프린팅 방법으로 제작하는 기술

약어 정리

CLK	Clock
DOD	Drop on Demand
EPC	Electronic Product Code
F8T2	Poly(9,9-dioctylfluorene-co-bithiophene)
IDW	International Display Workshop
NV	Non-Volatile
OTFT	Organic Thin Film Transistor
P3AT	Poly-3-alkylthiophene
PAni	Polyaniline
PFET	Polymer FET
PHS	Polyhydroxystyrene
POR	Power On Reset
PTFT	Polymer Thin Film Transistor
RFID	Radio Frequency Identification
SCLC	Space Charge Limited Current
TFT	Thin Film Transistor

참고 문헌

- [1] Nikkei Electronics, 2005년 5월 23일.
 [2] Y.Y. Lin, D.J. Gundlach, S.F. Nelson, and T.N. Jack-

- son, "Pentacene-Based Organic Thin-Film Transistor," *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol.44, No.8, 1997, pp.1325-1331.
- [3] R. Sezi et al., "Organic Materials for High-Density Non-Volatile Memory Applications," *IEDMO3*, pp. 259-263.
- [4] J.N. Bradley, "Roll-to-Roll Processing," USDC, USDC Flexible Display Report, Chapter 4, 2004.
- [5] H. Sirringhaus et al., "Dewetting of Conducting Polymer Inkjet Droplets on Patterned Surfaces," *Nature Materials*, Vol.3, No.171, 2004.
- [6] Walter Fix, "13.56MHz RFID Transponders Based on Polymers," *Organic Electronics Conference & Exhibition*, 2006.
- [7] Klaus Dimmler, "Printed RFID Technology," *Organic Electronics Conference & Exhibition*, 2006.
- [8] 조규진 외, "초저가 플라스틱 RFID Tag 제조를 위한 플라스틱 IC 인쇄기술," *고분자과학과 기술*, 제 17권 1호, 2006년 2월, pp.27-37.
- [9] W Clemens et al., "From Polymer Transistors toward Printed Electronics," *J. Mater. Res.*, Vol.19, 2004, pp.1963-1973.
- [10] Florian Dötz et al., *MRS Fall 2005*, Fully Mass Printed Integrated Circuits, 2005.