

Printed RFID tag 개발동향

노용영 | 구재본 | 최성을 | 안성덕 | 유인규

한국전자통신연구원

요 약

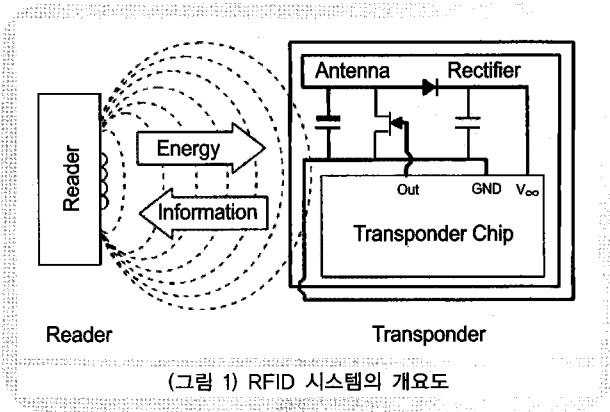
본고에서는 프린팅 공정을 통해서 chip 당 1센트 이하의 초저가 RFID tag를 개발 하고자 하는 최근 연구 동향과 앞으로의 전망에 대해서 기술 하고자 한다. 개별 물품 단위 인식 (Item level tagging) 을 위해서는 RFID의 제조단가를 획기적으로 낮추어야 하는데 기존의 태그를 제작하는 실리콘 공정으로는 이러한 낮은 가격의 칩을 제조 할 수 없다. 따라서 이를 위해서 용액상태를 기반으로 하는 기능성 잉크의 직접 프린팅 공정을 통해 칩과 안테나를 동시에 인쇄하여야 한다. 이러한 새로운 공정은 기존의 공정과는 차별화 되는 낮은 생산 단가를 보여주고 있으나 이를 제품으로 완성하기 위해서는 여러 가지 문제점들이 해결되어야 한다. 그 중에서도 인쇄공정을 통한 RFID tag를 실현하기 위해서 가장 중요한 사항은 프린팅이 가능한 고성능 기능성 잉크의 개발과 미세 인쇄 공정의 확립이라고 할 수 있다. 따라서 본 기고서에서는 이러한 점에 초점을 맞추어 현재의 인쇄전자분야의 기술적인 문제점을 해결하고자 하는 여러 가지 방안들과 앞으로의 전망들에 대해서 기술하고자 한다.

1. 서 론

RFID는 정보를 저장하는 메모리와 이를 처리하는 디지털 회로 및 송수신용 안테나가 내장된 tag를 특정 사물에 부착하고 radio frequency wave를 이용하여 tag이 부착된 사물과

reader 사이의 데이터 통신을 통해서 서로 정보를 주고 받는 기술이다 (그림 1). 이를 통해서 tag가 부착된 사물의 내역확인, 이송경로추적 및 실시간 이력관리 등 다양한 정보의 송수신이 가능하기 때문에 바코드나 교통카드 및 메모리 카드 등과 같은 기존의 저용량, 접촉식 정보 교환수단을 대체하기 위해서 현재 활발히 연구되고 있다. 이중 개별 소비재 물품의 정보를 저장하고 이를 송수신하기 위한 item level tagging RFID tag는 바코드를 대체하여 각각의 소비재에 부착하기 위해서 초저가로 chip을 제조 하여야 한다. 이러한 초저가 tag 제작은 기존의 실리콘 전자소자 공정으로는 불가능하며 새로운 저가 제조공정의 적용을 필요로 한다. 용액을 기반으로 하는 인쇄기술은 인류가 잉크를 통해서 방대한 양의 정보를 종이 위에 인쇄하면서부터 약 천 년 동안 사용 되어져 왔다. 이러한 오랜 역사를 가진 전통적인 공정이 최근에는 여러 기능성 잉크의 개발을 통해서 다양한 제품 생산에 응용되고 있다. 이러한 공정 방식의 가장 큰 장점은 기존에 공정들에 비해서 저렴한 공정비용과 단순성을 들 수 있다. 가령 트랜지스터의 소스/드레인 전극을 패터닝 할 때 기존의 포토리소그라피 방법의 경우 몇 가지의 복잡한 공정이 필요한 반면, 금속 잉크의 잉크젯 공정에서는 금속잉크를 원하는 곳에 프린팅 하여 간단히 회로를 그릴 수 있기 때문에 한 두가지의 단순한 공정으로 대체 될 수 있다.

Printed electronics는 인쇄공정을 바탕으로 전기 기능성 잉크재료를 이용하여 회로를 직접 인쇄하는 방법을 통하여 필요한 여러 가지 전자소자를 제조하는 기술이다. 이러한 printing을 통한 전자소자의 제조 방법은 앞서 말한 것처럼 고가의 장치나 고온의 공정이 필요하지 않아서 초저가의



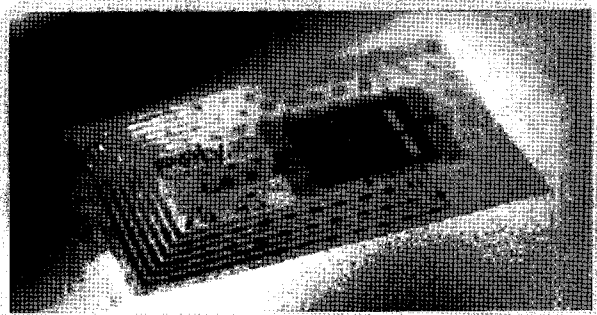
RFID tag나 각종 플렉시블 디스플레이의 핵심 기술 등에 이 용하기 위하여 최근 활발히 연구되고 있다. 현재 관련 분야에서 세계적으로 가장 앞선 연구그룹인 네덜란드의 Philips 나 독일의 PolyIC 등이 프린팅 방법을 통해서 RFID 소자를 제조하여 보고 하고 있으나(그림 3), 메모리의 용량이 작거나, 인식률이 낮고 모든 소자나 공정을 프린팅 방법으로 사용하지 못하는 등 아직까지는 상업적으로 양산 하기에는 부족한 점이 많은 실정이다. 이를 극복하기 위해서는 우선 인쇄 가능한 고성능 기능성 잉크의 개발, 고해상도 프린팅 기술의 개발 및 관련 양산 장비의 개발 등이 가장 시급하다고 할 수 있다. 본론에서는 이에 초점을 맞추어 전세계의 연구 동향과 인쇄소자를 위한 여러 가지 프린팅 공정, 고성능 기능성 잉크의 개발 등을 주로 기술하고자 한다.

II. 본 론

1. 국내외 연구 동향

프린팅 공정을 통해서 RFID tag을 제작하는데 가장 앞선 기술을 보유하고 있는 곳은 유럽의 여러 연구 그룹이며, 그들은 독일의 PolyIC와 네덜란드의 Polymer vision, IMEC, TNO, Holst center의 공동연구그룹, 영국의 University of Cambridge, Cavendish 연구소와 Plastic logics의 공동연구 그룹 등을 들 수 있다. PolyIC는 2003년 11월에 인쇄장비를 생산하는Kutz와 전자회사인 Siemens 가 공동 출자하여 Printed RFID tag을 제작 판매하기 위해 설립한 회사이다. Poly IC 는 지난 2007년에 roll-to-roll printing 공정으로 제작

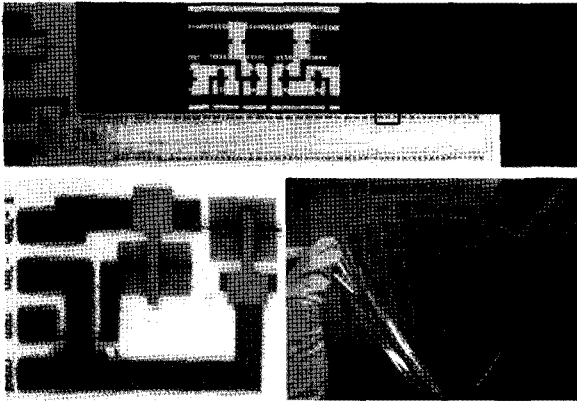
된 13.56 MHz, 64bit passive RFID tag을 제작 시현하였다(그림 2). 그들이 제작한 tag는 reader와 3 cm 거리에서 inductive coupling 을 통해서 성공적인 정보 전송을 보여주었으며, 현재 2010년 양산을 목표로 대량 생산 공정을 준비 중에 있다. 비록 PolyIC 의 tag가 아직 여러 특성이 개별물품 인식을 위한 응용으로 부족하고, 대량생산을 위한 공정에 어려움이 있지만, full printing 공정을 통해서 제작된 최초의 RFID chip이라는 기술적인 의의가 있다.



(그림 2) Poly IC에서 개발한13.56Mhz, 64bit Printed RFID tag

한편 네덜란드의 필립스의 자회사인 Polymer Vision을 중심으로 하는 IMEC, TNO, Holst center연합연구 그룹도 주목한 만한 연구 성과를 발표 하고 있다. 그들은 RFID 에 사용되는 소자들을 각각 역할을 분담하여 개발하고 그들을 결합하여 Printed RFID tag을 공동으로 제작하는 방법을 통해서 8bit 13.56 MHz RFID tag을 시현 하였다[1]. 하지만 그들의 transponder는 모든 공정과 소자를 printed 공정으로만 제작하지 않고 기존의 공정과 병행 사용하여 제작 하였다.

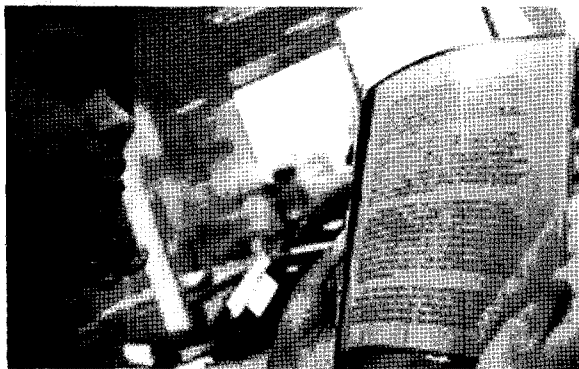
영국의 캠브리지 대학의 캐빈디쉬 연구소와 그들이 설립한 자회사인 Plastic logics을 중심으로 하는 연구그룹은 고해상도 프린팅 공정과 이를 통한 전자소자제작에 대한 많은 원천 기술을 보유하고 있으며, 이를 바탕으로 현재는 주로 플렉시블 e-paper display을 대량생산하기 위한 공장을 설립하는 단계에 있다 (그림 4). 또한 그들이 보유한 다양한 고해상도 프린팅 기술은 현재까지 세계에서 프린팅 공정으로 발표된 circuit중 가장 빠른 swiching 속도를 보고 하고 있어서 향후 printed RFID 개발에 참여 하기 위해서 기초 연구를 수행하고 있다고 알려져 있다[2]. 미국은 현재 유럽의 연구 그룹에 비해서 규모가 작고 발표하는 기술들도 요소기술을 기



(그림 3) Polymer Vision, IMEC, TNO, Holst center 등이 공동연구 하여 발표한 Half printed RFID transponder

반으로 하는 기술들이 주를 이루고 있다. 가장 활발하게 연구하고 있는 곳은 Xerox의 PARC가 printing 통해서 회로를 제작하는 기술을 발표 하였으며, IBM 은 printing을 통해 memory를 제작하는 기술에 대해서 발표하였다.

국내의 Printed RFID tag의 제작에 대한 연구를 주로 수행하고 있는 곳은 ETRI, 순천대와 (주) 파루의 연구그룹을 들 수 있다. ETRI 는 2008년 3월부터 Printed RFID tag 을 제작하기 위한 핵심 원천기술인 기능성 잉크 개발과, 메모리 소자 개발, 고해상도 프린팅 공정개발 등에 대한 연구를 주로 수행하고 있으며, 순천대 와 (주) 파루의 연구그룹은 2007년부터 roll to roll 방식을 기반으로 하는 RFID tag 제조기술에 대한 연구를 수행하고 있다. 하지만 국내는 관련분야에 대한 연구를 수행한지 얼마 되지 않아서 앞서 언급한 유럽의 연구 그룹에 비해서 부족한 연구 성과를 보여주고 있어서 향후 관련분야에 대한 대규모 투자가 절실하다.



(그림 4) 영국의 Plastic logics이 개발한 Flexible e-paper

2. RFID 프린팅 기술

프린팅 RFID가 개발되고 있는 가장 큰 이유는 실리콘에 비해 낮은 공정 가격이다. 실리콘을 이용해서 고진공 및 리소그라피 기술을 통해서 칩을 제작하고 이를 안테나에 부착하는 공정을 통해서 제작되는 실리콘 RFID 에 비해서 칩과 안테나를 용액 상태로 되어 있는 기능성 잉크의 프린팅을 기반으로 하는 roll-to-roll 공정으로 제작하여 제조공정과 제작 단가를 획기적으로 줄일 수 있다. 하지만 현재의 기술수준으로 프린팅을 통해서 고주파수, 능동형의 RFID 를 제조하기는 어려워 보인다. 대신 프린팅 공정을 통해서 개발되는 RFID 는 저성능, chipless 형태가 우선 주류를 이룰 것으로 예상되며, 향후 기술 개발 속도에 따라서 좀더 고성능 소자 쪽의 개발도 가능할 것으로 예상된다.

RFID 프린팅 기술은 집적도나 성능도 중요하지만 이 보다는 생산비용과 대면적화가 더욱 중요하게 요구된다. 프린팅 기술은 그 특성상 고속 양산 가능한 미세공정 기술과 연속공정(roll-to-roll processing)이 동시에 가능하다. 현재 대표적인 프린팅 기술은 몇 가지가 있고 그들의 장단점을 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> Printed RFID 제작에 적용 가능한 여러 직접 인쇄법의 비교

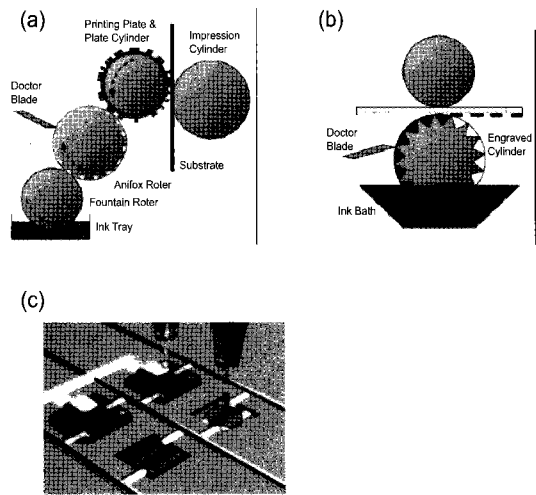
Printing technique	Thickness (μm)	Feature size(μm)	Throughput (m/s)	Registration (μm)	Feature/Issues
Flexography	0.8-2.5	80	10	<200	Wide range of substrates ; medium quality
Gravure	0.8-8	75	60	>10	Large run length ; high quality
Offset	0.5-1.5	10-50	5-30	>10	High quality ; need for ink additives
Screen	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

이중 몇 가지 중요한 프린팅 기술의 원리에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다. Flexographic printing (그림 5(a))은 다양한 상품 포장지 및 신문 인쇄 등에 널리 사용되는 방법이다. 이 방법은 다른 인쇄방법에 비해 비교적 공정 단가가 싸고, 간단한 장점을 지닌다. 하지만 인쇄판의 resolution에 의해 printing resolution이 좌우되어 수십 μm 이하의 고해상

도를 갖는 인쇄는 불가능하다. 따라서 고해상도의 프린팅이 요구되는 트랜지스터 채널 형성 등의 공정에는 적용하기 어려우며, 그리 높지 않은 해상도가 요구되는 공정에 적합하다. Gravure printing은 종이 이외의 피인쇄체에 인쇄하는 특수인쇄의 하나이다 (그림 5(b)). Gravure 제판으로 판을 만든 다음, 오프셋인쇄처럼 고무 블랭킷에 잉크를 일단 전이하여 간접적으로 피인쇄체에 인쇄하는 방식이다. Gravure printing은 flexographic printing과 아주 유사하며, 유일한 차이는 잉크를 전사해주는 roller와 printing plate가 하나로 통합되었다는 것이다. Gravure printing의 단점은 앞서 말한 flexographic printing과 유사하다. PolyIC는 flexographic 공정을 이용해서 RFID구현을 시도하고 있는 것으로 알려져 있다.

잉크젯 프린팅은 잉크가 들어있는 관에 양 옆에서 압전성 물질이나, 압열성 물질등을 이용해서 전기나 열을 통해서 부피의 팽창을 주고 이를 통해 관에 압력을 가하여 작은 부피의 잉크가 토출 되도록 하는 인쇄방법이다. 앞서 설명한 기존 방식에 비해서 원하는 부분만 잉크가 토출 되므로 잉크의 사용량을 최소화 할 수 있고 다른 직접인쇄법에 비해 비교적 높은 해상도가 가능하다. 잉크젯 프린팅은 현재 가정과 사무실에서 서류나 사진을 인쇄하기 위해서 가장 보편적으로 사용하고 있는 인쇄기술 중 하나이다. 상업적인 분야에서는 포스터나 옥외간판, 바코드 등을 인쇄하는 용도로써 주로 사용되어 왔었다. 이러한 잉크젯 프린팅 공정은 최근에 와서 더욱 더 여러 가지 최신 산업분야에 응용되어서 가령 7세대 LCD 제조분야에서 잉크젯 제조 장비는 color filter나 다른 부품들의 프린팅 공정을 위해 개발되어 현재 적용되고 있다. 다른 직접 프린팅 기술에 비해 잉크젯 프린팅의 가장 큰 단점은 낮은 프린팅 공정 속도이다. 최근에는 멀티노즐을 이용해서 이 문제를 어느 정도 극복하고 있으나, 주로 빠른 공정속도 보다는 정확한 패터닝을 요구하는 공정에 적합한 기술로써 인식되고 있다. 인쇄 전자소자에 잉크젯 프린팅 기술이 최초로 적용된 사례는 organic light emitting diode (OLED) 의 화소를 red, green, blue 발광고분자의 잉크젯 프린팅을 통해 패터닝 하는 것이다 (그림 5(c)). 그 후 PEDOT : PSS나 금속 나노입자등 전도성 잉크의 프린팅을 통해서 organic thin film transistor (OTFT) 의 소스/드레인 전극의 형성에 주로 적용되어 왔다. 최신의

piezoelectric drop-on demand 잉크젯 프린터로 제작 가능한 잉크 방울의 부피는 10 - 30 pL 정도이고, 따라서 어떠한 기판의 화학적 처리 없이 얻을 수 있는 최소 해상도는 20 - 100 μm 이다. 이 정도의 해상도는 인간이 시각적으로 보는 사진이나, 서류의 인쇄에는 문제가 없으나, 트랜지스터의 채널을 형성하기에는 좀 큰 사이즈라고 할 수 있다. 따라서 최근에는 기판이나 미리 프린팅된 부분의 표면 화학적 처리를 통해서 좀더 높은 해상도를 지닌 잉크젯 프린팅 방법들이 개발되었고 이들이 인쇄 전자 소자제작에 성공적으로 적용되기도 하였다[2]. 다른 한편으로는 잉크젯 노즐과 기판 사이에 높은 전기장을 걸어주어 잉크를 강제적으로 도출시키는 e-inkjet printing 방법이 개발되어 해상도를 수 μm 이하로 낮추기도 하였다[3].



(그림 5) Printing RFID 제작에 적용되는 다양한직접 인쇄법:
(a) Flexographic printing, (b) Gravure printing,
(c) inkjet printing.

3. 고성능 인쇄 잉크의 개발

프린팅이 가능한 기능성 전자 잉크의 개발은 Printed RFID tag을 개발하기 위해서 가장 핵심적인 기술이라고 할 수 있다. 이러한 제작 방법은 용액상으로 되어 있는 절연체, 반도체, 또는 도체 잉크들을 inkjet printing이나 기타 다른 여러 직접 인쇄법을 통해서 전자회로를 다른 패터닝 방법 없이 기판에 직접 인쇄하여 제작하는 개념을 바탕으로 하고 있으며 이에 따라서 기존의 포토리소그라피나 다른 여러 고가의

진공공정이 없이 비교적 저렴한 공정단가로 전자소자가 제작 가능하며, 또한 구부러질 수 있으나 열에 약한 플라스틱 기판 위에 저온공정을 통해서도 제작이 가능하며 차세대 flexible electronics에도 응용될 수 있으므로 전세계적으로 최근 활발히 연구되고 있다.

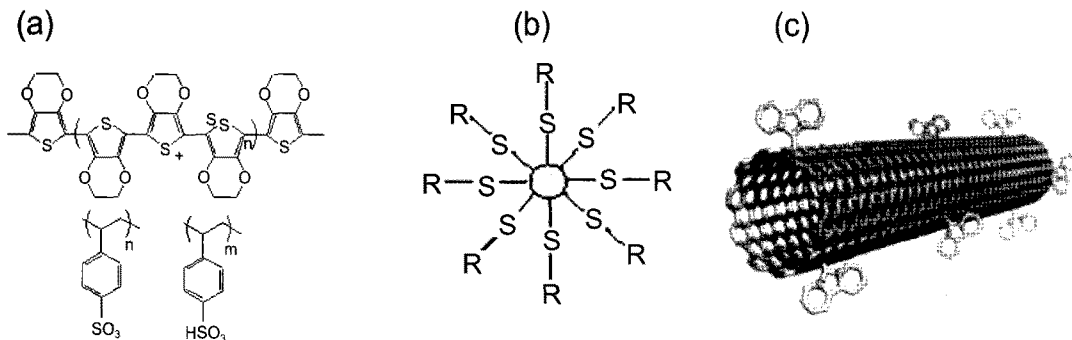
이러한 방법을 통해서 전자소자를 제작하기 위해서 가장 중요한 재료적인 요구사항은 우선 재료의 공정온도가 낮아야 하며, 또한 원하고자 하는 소자에 적용하기 위해 필요한 전기적 물성을 보유하고 있어야 하며, 또한 재료의 생산 단가가 낮아야 한다. 이러한 공통적인 요구사항 외에도 각 재료의 기능에 따른 다양한 요구사항을 만족시켜야 하며 이에 대해서 하나씩 짚어 보고자 한다.

3.1 전도성 잉크 재료

전도성 잉크재료는 RFID tag의 안테나 제작, 각 소자의 전극형성 및 소자간의 연결에 필요한 전극 라인 형성 등에 주로 사용된다. 이때 형성되는 전도성 라인에 필요한 가장 중요한 물성은 바로 높은 전도도이다. 가령 예를 들면 전도성 잉크재료를 이용해서 안테나를 형성할 때에도 높은 전도도를 지닌 재료들을 사용하게 되면 비교적 적은 재료의 사용량과 낮은 프린팅 해상도에도 inductive coupling 을 통한 정보 전송시 높은 Q값을 얻을 수 있다. 그 다음으로 중요한 요구사항은 낮은 공정온도, 낮은 제조단가 및 잉크의 안정성 등을 들 수 있다. 현재 주로 사용되고 있거나 활발히 연구되고 있는 전도성 잉크재료는 전도성 고분자 용액^[4], 금속 나

노 입자가 분산된 용액^[2], 탄소나노튜브 (CNT, carbon nanotube) 분산 용액 및 이에 대한 복합체 재료^[5]를 들 수 있다(그림 6). 이들 재료는 각각 단점과 장점을 동시에 보유하고 있어서 현재 모든 요구사항을 완벽히 만족시키는 전도성 잉크는 없는 실정이다. 현재 가장 활발히 연구되고 있는 금속 나노입자의 경우 RFID에 응용되기 위해 충분한 만큼 높은 전도도를 보유하고 있으나, 이들을 분산시키기 위해 사용되는 분산제를 제거 하기 위해서 비교적 높은 소성온도 (>150 °C)를 요구하며 제조 단가도 비싼 편이다. 따라서 좀 더 낮은 단가에 제조가 가능한 공정의 개발과 소성온도를 낮출 수 있는 분산제를 개발하는 것이 필요하다. 전도성 고분자의 경우 높은 분산 특성과 낮은 공정 온도 때문에 공정성이 가장 용이하나, 전도도가 금속 나노입자에 비해 턱없이 낮다 (1 ~ 10 S/cm). 따라서 전도성이 높은 전도성고분자 재료에 대한 연구가 필요하다. CNT분산 용액은 CNT 자체로는 일반적인 용매에 분산이 어려워 표면이 개질된 CNT를 물 등의 용매에 분산해서 잉크로 사용하고 있다. 금속 나노입자보다는 낮으나 비교적 높은 전도도 (100 ~ 1000 S/cm)와 낮은 공정 온도 (100 °C) 때문에 최근에 활발히 연구되고 있으나 CNT의 장기간 안정적인 분산을 얻기 어려워서 이에 대한 연구가 더욱 필요하다.

현재 모든 재료가 가지고 있는 장단점으로 인해서 한가지 재료를 통해서 안테나 제작, 소자의 전극형성, 소자간의 연결등을 모두 수행하는 것은 바람직 하지 않아 보인다. 또한 각각의 용도에 따른 전도성 잉크의 요구사항도 조금씩 달라



(그림 6) 현재 대표적으로 사용되는 전도성 잉크재료들 (a) PEDOT:PSS 전도성 고분자, (b) 금속나노 입자, (c) 표면이 개질된 Carbon nanotube

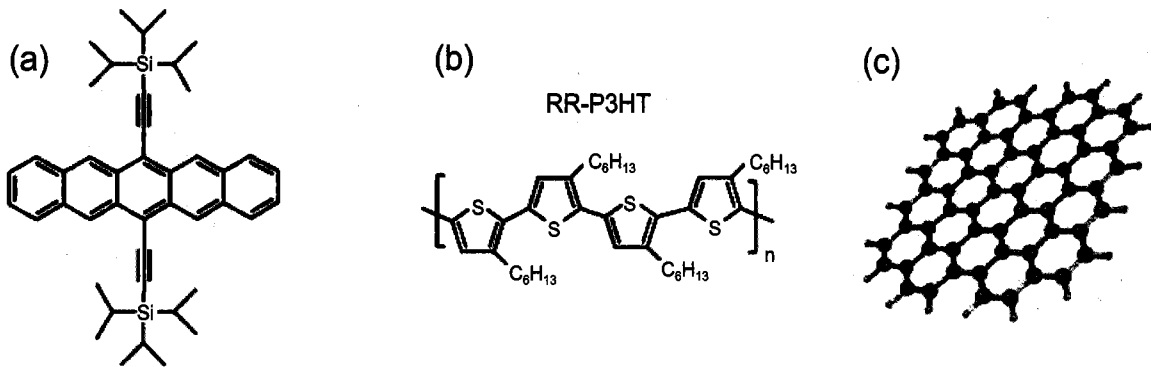
서 예를 들면 안테나 재료는 높은 전도성을 최고로 여기나, 소자의 전극은 전도성 외에도 소자내의 접촉저항을 낮출 수 있는 재료를 선택 해야 한다. 따라서 인쇄 가능한 여러 전도성 재료를 각각의 용도에 맞게 혼합하여 사용하는 것이 가장 높은 성능을 얻을 수 있는 방향으로 여겨 진다.

3.2 반도체 잉크 재료

반도체 잉크재료는 RFID tag의 rectifier, transistor, 및 memory 소자의 활성층 (active layer) 등으로 사용되는 핵심 재료로서 소자의 성능 (이동도나 메모리 특성)에 가장 중요한 영향을 미치기 때문에 현재 가장 활발히 연구되고 있는 재료이다. 반도체 잉크재료는 재료의 화학적인 성분상 유기물 잉크재료와 무기물 잉크재료로 나눌 수 있고 이중 유기물 잉크재료를 통한 RFID tag의 제작이 현재까지는 주로 연구개발의 대세를 이루고 있다. 하지만 유기물 반도체 재료가 지닌 물질의 전기적인 특성상 이론적으로 수십 cm^2/Vs 이상의 전하 이동도는 얻을 수 없고 실제로 얻어지는 전하의 이동도도 용액공정을 통해서 세계적으로 가장 우수한 특성이 $0.1 \sim 1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 정도로 비교적 낮은 실정이다. 따라서 이러한 낮은 성능으로 인해 기존의 silicon, 화합물 반도체, ZnO 등 금속 산화물 같은 무기물 반도체 재료를 나노 입자 형태로 만들고 그들의 표면에 용매에 잘 분산되도록 하는 분산재를 부착하여 용액 상태로 제조한 무기물 반도체 재료에 대한 연구도 최근 활발히 진행 되고 있다. 하지만 이들은 모두 프린팅 공정의 안정성 확보에 중요한 분산도 나 장

간의 분산 안정성이 유기물 재료에 비해서 상대적으로 낮으며 소성 온도가 플라스틱 기판에 적용하기에는 높아서 ($> 200 \text{ }^\circ\text{C}$) 이러한 문제점을 극복하기 전에는 printed RFID tag의 제작을 위한 재료로 사용되기에는 어려움이 많다.

용액 공정이 가능한 유기물 반도체 재료는 물질의 분자량에 따라서 저분자 재료와 고분자 용액 재료로 나눌 수 있다. 저분자 재료는 고분자 재료에 비해서 비교적 손쉽게 결정성을 얻을 수 있어서 보다 높은 전하 이동도를 보여주고 있다. 최근에 가장 활발히 연구되고 있는 재료는 TIPS pentacene 이다 (그림 7(a)). TIPS pentacene은 진공 증착용 유기물 반도체재료로 가장 유명한 pentacene에 용해도가 가능한 TIPS라는 작용기를 붙여서 만든 반도체 재료이다. TIPS-pentacene은 용액공정을 통해서 $0.1 \sim 2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 정도의 전하의 이동도를 보여주고 있으며 이는 보통의 고분자 반도체 재료에 비해서 약간 높은 수치라 할 수 있다. 하지만 유기물 재료의 낮은 분자량으로 인해서 용액의 점도가 낮고 이것으로 인해서 제조된 반도체막의 결정성의 균일도가 상대적으로 낮다. 따라서 이러한 물질들로 제조된 트랜지스터는 성능의 균일도가 떨어진다. 고분자 반도체 재료는 보통 conjugated polymer (분자내에 탄소와 탄소 사이에 이중결합과 단일결합을 교대하는 구조를 지닌 고분자) 을 일컫는다. 고분자 반도체 재료중 가장 대표적인 물질이 thiophene 을 기본 작용단으로 갖는 poly (3-hexyl thiophene) 이다 (그림 7(b)). 이러한 고분자 반도체 재료는 앞서 언급한 저분자 재료에 비해서는 성능의 균일도는 우수하나, 전하의 이동도



(그림 7) 현재 대표적으로 사용되는 반도체 잉크재료를 (a) TIPS-pentacene, (b) P3HT, (c) Graphene.

가 조금 낮은 0.1 - 1 cm²/Vs 정도의 값을 보여주고 있다. 따라서 유기물 반도체 재료를 이용해서 제조된 트랜지스터가 Printed RFID tag을 제조하기 위한 모든 트랜지스터 소자를 대체하기에는 아직 성능 면에서 부족함이 있다고 할 수 있다.

최근에는 기존재료의 단점인 무기물 재료의 낮은 분산성과 높은 공정 온도, 유기물 재료의 낮은 성능을 대체하기 위해서 새로운 재료의 개발에 대한 요구가 꾸준히 제기되어 왔고 이에 대한 대표적인 재료가 바로 CNT와 Graphene이다. 두 재료는 모두 탄소와 수소만으로 이루어져 있어서 앞선 분류를 기준으로 유기물 재료에 속한다고 할 수 있다.

하지만 기존의 conjugated molecule를 기본으로 하는 유기물 재료와는 조금 다른 전기적인 특성을 보유하고 있다.

CNT는 보통의 유기물 반도체 재료에 비해서 매우 높은 전하 이동도 (> 1000 cm²/Vs) 을 보유하고 있어서 매우 흥미로운 재료로 알려져 있으나 CNT를 합성하는데 metallic과 semiconducting 재료가 동시에 제조되는데 이를 간편하게 대규모로 분리할 수 있는 기술이 아직 개발 단계에 있다. graphene 재료의 경우 보통은 반금속성을 지나다가 graphene sheet의 너비가 10 nm이하로 좁아지면 비로서 반도체 특성을 보이는 것을 최근에 발견하였다[6]. 하지만 현재까지 너비가 10 nm 이하의 graphene을 대량 생산하거나 분리해 내는 공정은 보고된 바가 없다. 따라서 이러한 문제점들이 해결되어야만 CNT와 graphene이 프린팅 반도체 잉크로 본격적으로 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

III. 결 론

본고에서는 개별 물질단위 인식을 위한 초저가 Printed RFID tag 제작 기술에 대한 최근 연구동향에 대해서 알아보았다. 현재의 기술 수준으로 전도성 잉크의 높은 공정 온도, 높은 재료 가격 등의 문제와 반도체 잉크의 낮은 성능, 낮은 안정성 문제, Printing기반 roll-to-roll공정의 낮은 해상도, 낮은 registration, 부족한 공정 knowhow 문제, 적당한 plastic 기판의 부족 등 RFID를 상용화 하기 위해 해결해야 할 많은 문제들이 있다. 따라서 당장 고성능 RFID 를 Printing 기술로

제작하기에는 기술적으로 어려우나, 여러 가지 유력한 기술 전망 자료나 현재 기술 발전 추이로 볼 때 2015년을 전후로 해서 저용량, 13.56Mhz의 RFID가 Printing roll-to-roll기술을 통해서 상용될 것으로 조심스럽게 전망된다. 본 고에서는 지면 관계상 최근 연구동향과 프린팅 잉크개발을 중심으로 기술하였으나, 고해상도 프린팅 공정 개발이나 인쇄회로의 개발 동향에 관한 보다 구체적인 사항은 최근에 출간된 다른 문헌을 참고 하길 바란다 [7].

참 고 문 헌

- [1] Myny K. et al., "An inductively coupled 64b organic RFID Tag operating at 13.56 MHz with a data rate of 787b/s" ISSCC 2008 Proceeding Session 15, pp. 290-291 (2008).
- [2] Noh Y.-Y. et al. "Down-scaling of self-aligned inkjet printed polymer field effect transistors" Nature Nanotechnology, 2, pp 784 - 789 (2007).
- [3] Roger J. A. et al. "Electro hydrodynamic jet printing" Nature Materials, 6, 782 - 786 (2007).
- [4] Siringhaus, H. et al. "High resolution self-aligned inkjet printed polymer thin film transistors" Science, 290, pp. 2123 - 2126 (2000).
- [5] Beecher, P. et al. "Inkjet printing of carbon nanotube thin film transistors" J. Appl. Phys., 102, 043710 (2007)
- [6] Li X. et al. "Chemically derived, ultra smooth graphene nanoribbon semiconductors" Science, 319, pp. 1229-1232 (2008).
- [7] 노용영 외 3명 "잉크젯프린팅을 통한 미세패턴형성 및 이를 통한 고성능 OTFT 제작" NICE 화학공학기술정보지, 8, pp. 439-446 (2008).

약 력



2000년 동국대학교 학사
 2002년 광주과학기술원 석사
 2005년 광주과학기술원 박사
 2007년 캠브리지대학교 캐빈디쉬 연구소 박사후 연구원
 2008년 ~ 현재 한국전자통신연구원 융합부품·소재 연구부문
 플렉시블 소자팀, 선임연구원
 관심분야: 프린팅을 통한 전자회로 개발

노 용 영



1994년 고려대학교 학사
 1996년 KAIST 석사
 2000년 KAIST 박사
 2005년 삼성 SDI 중앙연구소 개발 1팀 AMOLED, 책임연구원
 2005년 ~ 현재 한국전자통신연구원 융합부품·소재 연구부문
 플렉시블 소자팀, 선임연구원
 관심분야: 플렉시블 전자소자

구 재 본



1991년 KAIST 학사
 1994년 KAIST 석사
 1998년 KAIST 박사
 1998년 ~ 현재 한국전자통신연구원 융합부품·소재 연구부문
 플렉시블 소자팀, 선임연구원
 관심분야: 플렉시블 메모리 소자

최 성 울



1991년 한양대학교 학사
 1994년 KAIST 석사
 2000년 KAIST 박사
 2000년 ~ 현재 한국전자통신연구원 융합부품·소재 연구부문
 플렉시블 소자팀, 선임연구원
 관심분야: 플렉시블 디스플레이, 플렉시블 터치패널

안 성 덕



1987년 고려대학교 학사
 1989년 고려대학교 석사
 1995년 고려대학교 박사
 1998년 현재전자 메모리연구소
 1999년 ~ 현재 한국전자통신연구원 융합부품·소재 연구부문
 플렉시블 소자팀장
 관심분야: 프린팅 전자회로, 플렉시블 일렉트로닉스

유 인 규

