



진공 웹코팅을 이용한 연성 전자 기판

연성회로기판, RFID, 투명 터치 패널

최 원 국 / 한국과학기술연구원, 재료기술연구본부 책임연구원

I. 서론

최근 유리, 실리콘 기판을 근간으로 한 전자 산업 재료, 부품들 분야에서 일반적으로 경박, 단소, 저렴한 가격 및 대면적화가 요구됨에 따라 기판을 고분자로 대체하는 연성 전자 공학 (flexible electronics) 기술이 급속히 발전하고 있다. 기존의 단순한 포장재 코팅, 자성테이프, 필름 콘덴서 재료 이외에, 터치 패널 및 유기 발광소자 디스플레이용 투명 전도막 필름의 제작이 활발히 이루어지고 있으며, 고밀도 연성 회로 기판을 비롯한, 연성 태양 전지, 연성 박막전지, 고기능성 섬유 코팅 등의 분야로 급속도로 발전이 이루어지고 있는 상황이다. 이러한 유연 기판인 고분자를 이용한 고 기능성 재료의 개발을 위해 연속 진공 웹 코팅 또는 롤투롤 코팅 방식이 개발되어 지고 있고, 이를 기본으로 한 필름 공정상의 저온 박막 성장 및 연속 생산 공정에 대한 연구 또한 증가하고 있다.

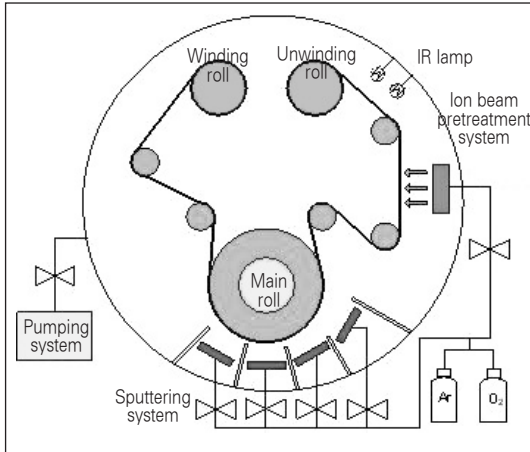
한편 2008년 초 GE에서 진공조건이 아닌 공기중 roll-to-roll (air-R2R) 인쇄 공정만을 사용

하여 유기 발광 소자를 고분자위에 구현함으로써 비진공 분야 R2R 공정이 새로운 연성전자제품들의 주요 공정기술로 급격히 부상하고 있다.

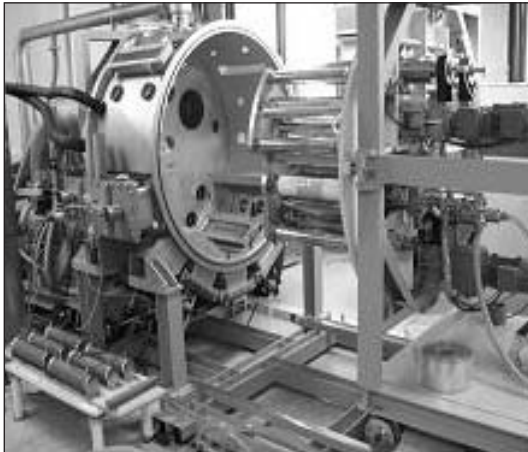
진공 web coater의 경우 국외에선 독일의 Applied Films, Von Ardenne, Leybold Optics, 영국의 General Vacuum, 일본의 Ulvac 미국의 Bekaert, CPF, Southwall 리투아니아의 Sidrabe 등의 진공 웹코터 제작 업체 등이 잘 알려져 있고, 이 중 특히 최근 Applied Films사는 고분자 기판위에 연성 회로 기판, 투명전극, 리튬 배터리의 양극 박막 증착 등이 모두 가능한 SMARTWEMTM과 같은 원형 (prototype)의 진공 롤코터를 제작 생산하고 있다. 진공 롤투롤(roll-to-roll) 증착 장비는 대부분이 감기롤(winding roll)과 풀기롤(unwinding roll) 세트와 터치롤, 확장롤 및 냉각 드럼으로 구성된 롤 부분과 코팅 부분과 비코팅 부분으로 주로 상하로 분리되어 있고 여러 개의 진공 펌프에 의해 원하는 진공도를 유지되는 방식으로 구성되어 있다.

비코팅 부분에서는 대부분의 고분자 필름이

[그림 1] 진공 웹코터의 일반적인 구성 요소



[그림 2] Vic-Mama web coater 실제 전경



포함하고 있는 수분을 제거하는 열처리 부와 코팅 전 표면 처리를 통하여 접착력을 증대시키는 전처리 공정 등이 포함되어 있다. 빠른 공정 속도, 대량 생산, 낮은 생산 단가 등의 장점이 있음에도 불구하고, 고분자 필름 기반의 전자 재료 소재들의 개발은 아직 낮은 수준에 머물러 있는 것이 현실이다.

본 연구에서는 연성 전자 공학의 발전에 따른

주요 진공 기술인 진공 롤투를 장비 제작 관련 국내 진공 산업의 적극적인 발전을 기대하면서, 진공 롤코터의 배기 특성과 소수성(hydrophobic)인 고분자 필름상의 금속 및 화합물 박막간 접착력 증대를 위한 저에너지 이온원의 표면 처리 장비 및 DC 마그네트론 스퍼터 등의 특성을 살펴보았다. 또한 연성 회로 기판중(flexible copper clad laminate : FCCL) 연성 회로 기판, RFID 및 연성 투명 산화물 전극(transparent conductive oxide : TCO) 터치 패널(touch panel) 기판에 대한 현황 및 시장 수요 등에 대한 분석 자료들에 개요를 설명하였다. 그리고 이 중 LCD의 패널과 소스 및 게이트 IC의 배선재료인 COF(chip on flex)용 고밀도 2층 연성 동박 적층 필름을 개발하고자, 진공 롤코터를 사용하여 스퍼터-전기도금(sputtering-electroplating) 방식으로 제작되는 초기 원재료인 FCCL(flexible copper clad laminate)과 ITO/PET의 특성에 대하여 간략하게 소개하고자 한다.

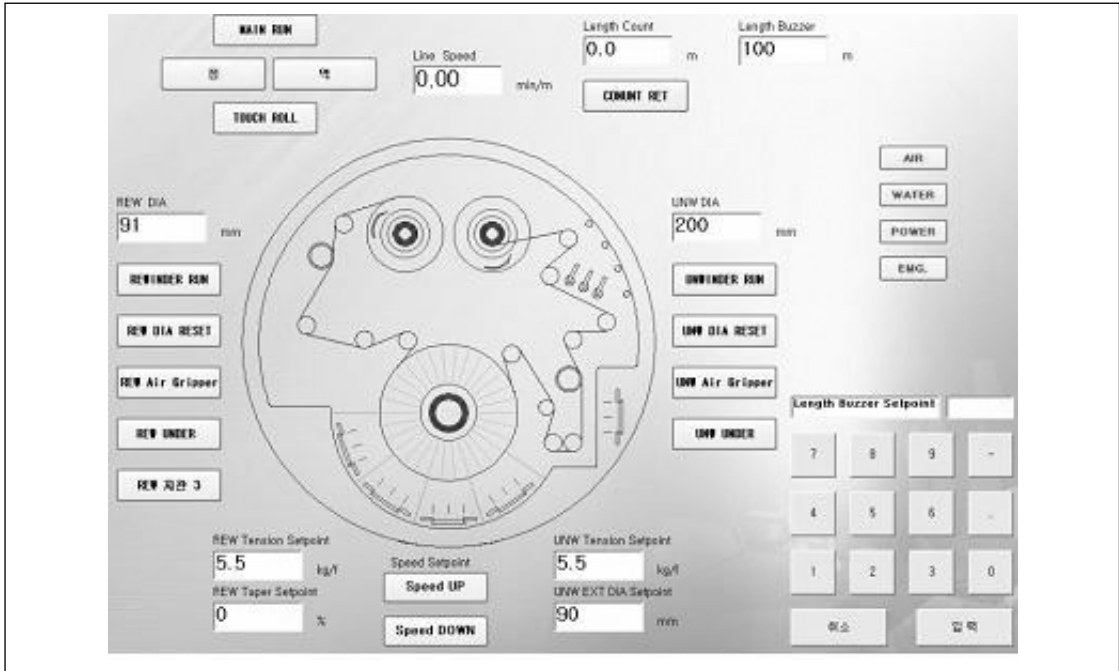
1. 진공 웹 코팅 장비

1-1. 진공 웹코터의 구성 및 원리

[그림 1]은 진공 웹코터의 일반적인 구성 요소를 나타내고 있으며, 필름을 거치하여 풀기를 위한 unwinding roll과 감기를 위한 winding roll, 그리고 증착이 일어나는 main roll 부분으로 기능적인 공간으로 구성되며, 각각 shield에 진공 정도가 다르게 조절된다. 특히 풀리 영역에서는 고분자 필름의 습기 제거를 위한 열처리 장치 및 polycold와 같은 극저온(-139℃) 흡착 장



[그림 3] 진공 웹코터 운영 터치스크린



치가 설치되고 있으며, 표면 처리를 위해 플라즈마 또는 이온빔 장치가 부착되어 있다. 증착 영역에서는 증착하고자 하는 박막의 종류와 생산성에 따라 스퍼터 음극의 개수 및 크기가 정해지고 메인 roll은 보통 냉각수에 의해 낮은 온도로 유지된다. 그리고 이와 같이 하여 제작된 필름은 감기 roll에 의해 최종적으로 감기가 행하여진다. 배기 시스템, 가스 공급 시스템을 표시하는 개략도이다. [그림 2]는 다목적으로 사용하도록 4개의 마그네트론 스퍼터 캐소드가 부착될 수 있고, 유효 스퍼터 캐소드의 크기는 480mm×150mm로 설계 되어져 있는 Vic-Mama web coater의 실제 모습이다.

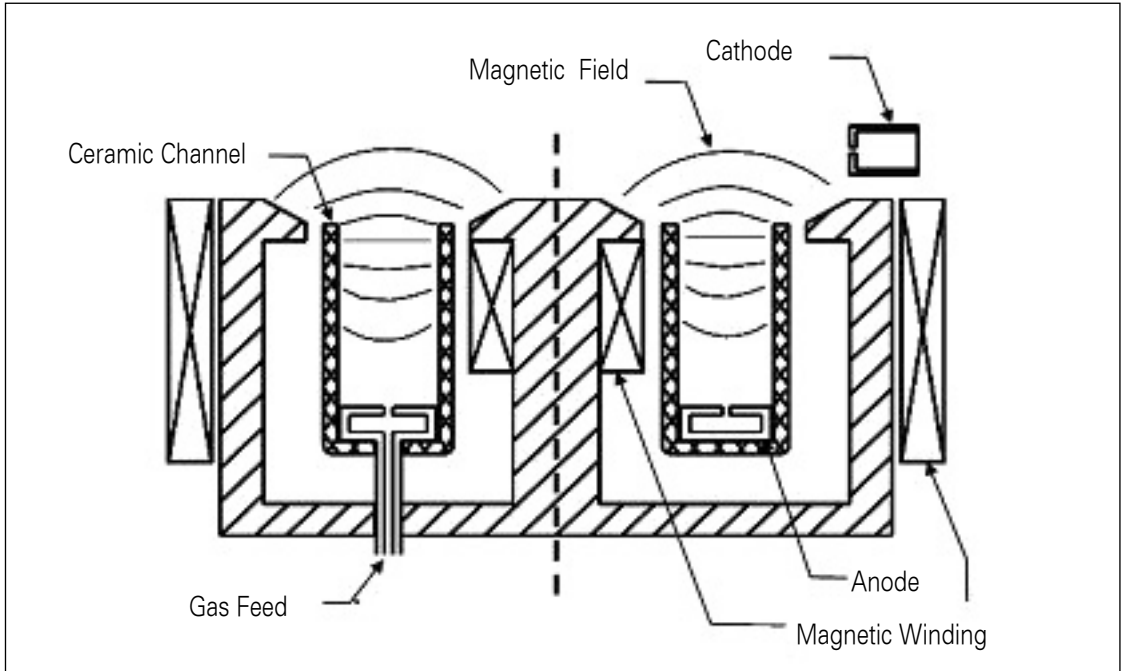
[그림 2]은 진공 웹코터의 구성 부품과 필름의 흐름 및 제어 장치를 나타내고 있는 개략도이

다. 필름의 흐름 방향을 나타내는 정, 역 방향 표시가 있고, 웹 속도 조절 장치가 장력측정기(tension meter)로 조절하도록 구성된다. 필름의 장력 조절은 2개의 로드셀(load cell)을 이용하며, 웹의 속력(m/min) 표시는 비주얼 프로그램을 사용하여 0~10m/min 내의 속도를 표시할 수 있게 된다.

1-2. 저에너지 이온빔 표면개질 장비

웹 코터의 고분자 표면처리는 이제까지 대부분 DC, RF 플라즈마 장치를 사용하여왔으나, 표면 개질된 표면의 분자량이 매우 낮고, 개질된 깊이가 최외각 원자층에 국한되어 매우 불안정하고 long-term stability에 문제가 있다. 이에 비하여 수백 eV-수 keV 에너지를 가지는 반응

[그림 4] Closed electron hall drift ion source의 단면 구조도



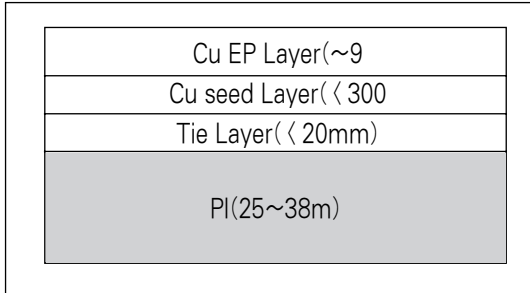
성 가스 이온빔을 사용하는 경우 개질되는 깊이가 5-10 원자층까지 가능하며 개질된 층의 친수성 화학 작용기의 분자량이 매우 커서 내구성 우수한 표면 개질 효과를 보여준다. 이러한 저에너지 이온빔 소스는 그리드와 그리드가 없는 두 가지 형태가 있는데, Kaufman, cold hollow, high frequency type 등은 그리드를 가지고 있어 정확한 이온빔 에너지의 선택은 가능하나, 이온빔 전류밀도가 낮아 표면 개질에 필요한 최소한의 이온 선량의 조사 시간이 길어 생산성이 낮은 문제점을 가지고 있다. 이에 비하여 end-Hall, anode layer 그리고 closed electron hall drift ion source의 경우 그리드가 없어 많은 이온전류 밀도를 가지고 있어 생산성이 우수한 반면, 앞의 두 가지는 음극 물질 오염이란 근본적

인 문제점을 가지고 있다. 한편 closed electron hall drift ion source의 경우 외부 전자 소스의 사용으로 인한 음극 물질 오염 배제 및 표면 개질시 표면 전하 축적 효과를 제거할 수 있는 새로운 이온원으로 각광 받고 있다.

이 이온빔 발생 원리는 [그림 4]에서 보는 바와 같이 음극(cathode)에서 발생한 전자가 양극(anode)로 향해서 가속될 때 세라믹 채널의 내부, 외부에 감겨진 전자석에 의해서 세라믹 채널 입구와 내부에 자기장이 형성되게 된다. 이렇게 형성된 자기장을 통과하는 전자는 자기장에 수직인 방향으로 원운동 및 양극으로의 가속 운동이 병행된 나선 회전(helical motion) 운동을 지속하면서 양극 하단의 가스 유입구에서부터 흘러나오는 가스를 이온화 시킨다. 양극으로 가속



[그림 5] 2층 FCCL구조



되는 전자는 가스외의 충돌 또는 세라믹 채널 벽면과의 충돌로 인하여 운동 에너지를 잃게 된다. 한편 이온화된 가스 이온들은 양극 전압에 의해 가속되어 세라믹 채널 밖으로 추출되며 이때 음극에서 발생된 일부 전자는 가속된 이온들의 흐름에 포함되어 이온빔의 중성화에 기여하는 역할을 하게 된다. 이러한 효과로 이온빔이 고분자와 같은 절연체 표면에 조사될시 발생하는 전하 축적 문제를 해결할 수 있다. 이온빔 에너지(E_{ion})는 음극과 양극 사이에 인가된 전압 즉, 방전 전압(V_a)과 $E_{ion} \sim (2/3 \sim 3/4)V_a$ 의 관계를 가지고 있다고 알려져 있다.

2 연성 전자 기판 현황 및 시장 수요

2-1. 연성회로기판

차세대 UXGA(ultra extended graphic array) 이상의 해상도를 가지는 LCD 모니터용 드라이버 IC의 출력 채널수가 증가함에 따라 능동 소자 탑재용 TCP(tape carrier packaging) 용 COF의 outer/inner lead bonding(ILB) pitch 크기가 각각 $50\mu m$, $20\mu m$ 이하의 고밀도가 요구되고 있다. 또한 1920×1080 pixels 또

[표 1] 국내 총 FCCL수요량

Items (CCL)	2004	2008
Sputter/electroplating	32	120
Casting	100	220
Laminating	18	60
SUM(billion\$/yr)	150	500

(출처: JMS 2004)

는 WUXGA(1920×1200 pixels) 등의 고해상도, HD(high density) LCD TV의 개발에서 요구되는 고밀착력과 우수한 이온 migration 특성을 보이는 우수한 2층 연성 구리 결합 라미네이트(FCCL : flexible copper clad laminate) 제작이 중요한 기술로 부각되고 있다. 무접착제 2층 FCCL은 기본적으로 진공 스퍼터링 공정과 전기도금의 두가지 공정을 사용하여 제작되며 [그림 5] 2, 3층 FCCL의 한국 수요량에 대한 것은 [표 1]에 보여주고 있다. 기본적인 구조는 polyimide 필름 위에 밀착력 증대를 위한 접착층(tie-layer)으로 Ni, Cr 또는 그 화합물이 $10 \sim 20$ nm 두께로 스퍼터 증착되며 그 위에 전기도금을 위한 $100 \sim 200$ nm 정도 두께의 구리 씨앗층(seed layer)이 증착된다. 이러한 진공 웹코터를 사용한 스퍼터링 후 $8 \sim 9\mu m$ 정도의 구리 층이 전기도금 공정으로 형성된다. Gould사에서 2층 연성 구리 결합 라미네이트를 선보인 이후 Summitomo, TAF사 등에서는 현재까지 스퍼터 공정시 구리와 금속간의 접착력을 증대시키기 위하여 주로 N_2 , O_2 가스를 이용한 DC, RF 플라즈마를 사용하여 표면을 세정과 동시에 화학적으로 친수성기를 유도하여 금속과의 부착력을 증대시켜왔다. 플라즈마의 경우 대면적화하기 힘든 기술적인 문제와 개질 되는 표면

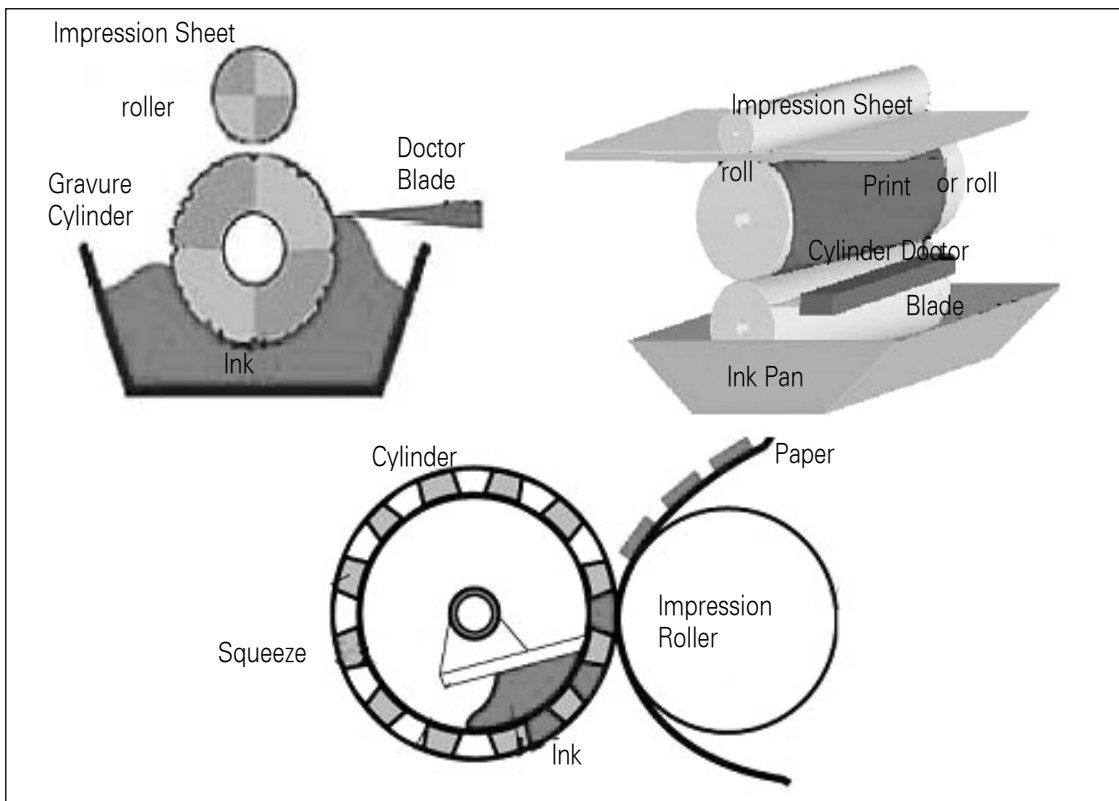
[표 2] 1 DC 플라즈마와 이온빔으로 처리된 후 제작된 FCCL 접착력 비교

구 분	표면처리 방식	Cu층 두께 (μm)	초기 접착력 (kgf/cm)	내열성(kgf/cm)			내화학성(kgf/cm)		멤납성
				1일후	4일후	7일후	HCl	NaOH	
S사	DC 산소 플라즈마	9	0.62	0.48	0.38	0.35	0.61	0.61	통과
Vic Mama	Ar+ O ₂ 혼합 이온빔	9	0.85	0.65	0.55	0.52	0.65	0.66	통과

층의 두께가 너무 얇고 생성된 친수성 화학 작용기들의 분자량이 적어서 내구성이 적은 문제점이 있다. 최근 Cu와 PI간의 접착력을 증대시키기 위해 표면 손상을 최소화 하며 개질된 표면 친수성 작용기의 분자량을 증대 시킬 수 있는 200eV 에너지 이하의 저에너지 이온빔 표면 처

리 기술을 채택하여, 300mm 폭의 진공 웹코팅 공정을 사용하여 제작된 FCCL의 밀착력, 내열성 특성 등을 조사하였다. 이온빔의 종류는 산소, 질소 플라즈마와 비교해 보기 위하여 반응성이온 가스로는 산소 및 질소를 포함한 아산화 질소 이온(N_2O^+) 등을 통하여 표면 개질하였다.

[그림 6] 여러 가지 인쇄 방법





[그림 7] (a) e-paper, (b) touch panel에 사용되는 ITO/PET



(a)



(b)

[표 2]경우는 여러 가지 이온빔으로 처리한 후 접착층으로 Ni-Cr을 10nm 두께로 증착한 후 Cu를 200nm 스퍼터 증착하고 역시 9 μ m의 두께로 구리를 전기도금한 후 90peel tester 를 사용하여 측정된 초기 접착력과 내열성, 내화학성 시험 후 접착력의 변화를 측정된 값들을 측정하였다. 내열성은 IPC-FC-240C 규격에 의해 150℃에서 7일간 열처리하며 측정하였고, 내화학성의 경우 NaOH(10%), HCl(10%) 묽은 용액에 5분간 담고, 세수한 후 측정하였다.

여러 가지 이온빔으로 처리한 시료 중에 Ar 과 산소 이온빔을 혼합하여 처리하여 제작된 경우 가장 우수한 특성을 보였으며 그 초기 접착력의 경우 0.89kgf/cm는 내화학성 시험후 0.65 및 0.66kgf/cm로 저하되었으나, 초기 접착력의 70% 이상을 유지해야하는 규격을 만족하였다.

한편 내열성 시험에서는 24시간 후 0.65, 그리고 168시간 후에는 0.52kgf/cm로 저하되었으나 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 LCD 평면 디스플레이 용 COF(chip on flex)

재료인 스피도모사의 사용 제품과 물성 값을 비교하였다.

2-2. RFID

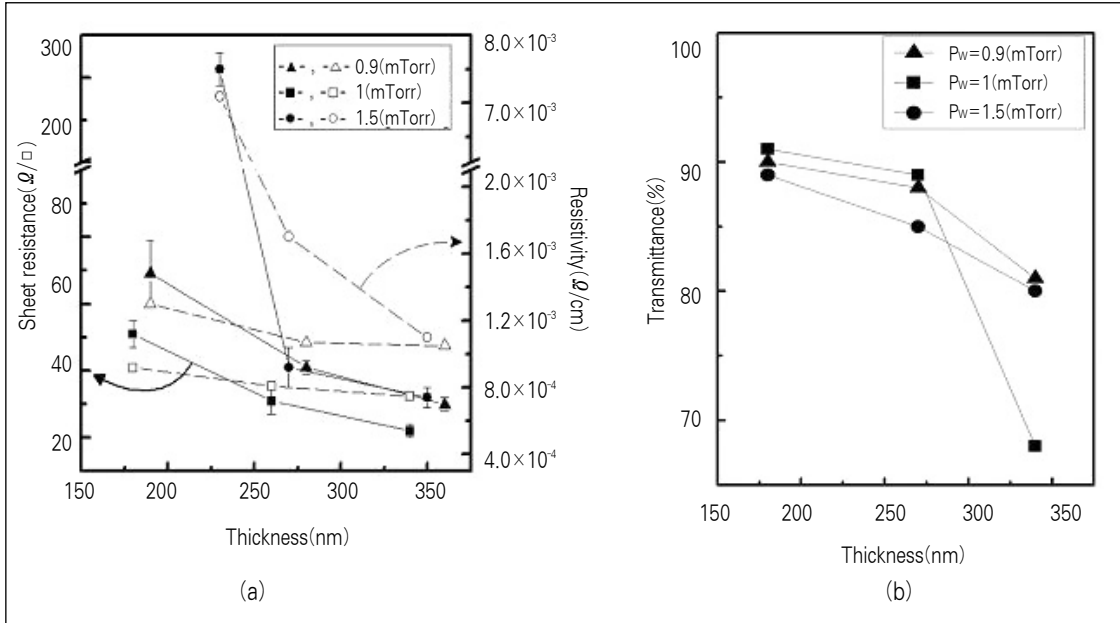
RFID는 IC칩과 무선을 통해 식품, 동물, 사물 등 다양한 개체의 정보를 관리할 수 있는 차세대 인식 기술이다.

RFID 시스템은 안테나, 트랜시버, 트랜스폰더라고도 불리는 태그의 세 가지 요소로 구성된다. RFID 기술은 출입 통제 시스템이나 전자 요금 지불 시스템에 많이 이용된다.

RFID는 이미 다양한 분야에서 사용되고 있으며, 특히 유통/물류 분야는 자동 인식 기능으로 가시성(Visibility)을 확보하여 전체 공급망 관리(SCM)의 효율성과 경쟁력을 극대화 시켜줄 수 있는 기술로 부상하고 있다.

RFID의 특징은 장애물 투과기능, 비접촉식, 이동중 인식가능, IPv6를 채용하여 ID가 부여된 단말기 수의 대폭적 증가가 가능하다는 점이다. 하지만 인식 거리가 제한적이고, 방향성에 따라 인식율이 영향을 받으며 출력이 작고 외부

[그림 8] 산소 분압에 따른 면저항(a)과 투명도 변화(b)



영향에 의해 쉽게 차단되며, 태그가 인접되면 문제가 있다.

RFID의 세계 시장 예측을 알아보면, 현재 주요 RFID tag 회사들이 연간 판매하는 RFID tag의 경우 수천억 개 이상이다. 이들은 모두 전통적인 실리콘 기술에 의해 만들어진다.

이들의 단가는 0.3~1달러 정도이다.

OrganicID, Computerworld, Global Information, Ventrue Development사¹²⁾ 등의 예측에 의하면 2008년도 시장 규모는 30~36억 달러이고 연 평균 33% 정도의 평균 성장률을 보이고 있다.

시장에서는 바코드를 대체할 RFID tag를 원하고 있으며, 단가는 수 센트 정도를 요구하고 있다. 그러나 이런 기술이 실현될 경우 제품 포장지의 바코드가 모두 organic RFID tag로 바

뀔 것이 예상되므로, 이런 경우 시장 규모는 오히려 늘어날 것으로 예상된다.

한편 실리콘을 chip을 대신하는 유기 반도체 재료의 발전으로 인해 연성 RFID의 제작이 가능해지고 있다. 유기 반도체 재료의 경우 Si에 대하여 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

첫째, 유기 반도체는 상온이나 아주 낮은 온도 (100°C 이하)의 온도에서 잘 결정화되므로 성막 시기의 온도를 높일 필요가 없다.

둘째, 고분자나 녹을 수 있도록 설계된 단분자 유기물의 경우 적절한 솔벤트에 녹는다는 장점이 있다.

우선 솔벤트에 녹은 상태의 유기 반도체는 인쇄 공정에서의 잉크와 같다. 즉 유기 반도체 잉크인 셈이다. 따라서 유기 반도체 박막은 기존의 인쇄 공정을 그대로 사용할 수 있다.



즉 회전 도포(spincoating), 담그기(dipping), ink-jet 프린팅, off-set인쇄, 그라비아 인쇄, 플렌소 인쇄, 리소그래픽 인쇄, 실크 스크린 인쇄 등 어떤 종류의 인쇄 기법도 이용할 수 있다.

이런 방법은 (청정한)대기 중에서 상온공정이 가능하고, roll-to-roll 공정이 가능하기 때문에 초저가의 전자소자 제작이 가능한 것이다.

셋째, 유기물은 반도체뿐 아니라 도전성 고분자, 절연체(유전체) 등도 모두 폭넓게 존재하며, 또 필요에 따라 원하는 기능을 갖는 소재의 합성이 가능하기 때문에 소자 제작의 자유도가 아주 높다.

RFID 경우 진공 roll coater 로 제작하는 경우 단가가 매우 높아서 시장에서 요구하는 RFID의 가격을 맞출 수 없기 때문에 일반적인 몰투몰 공정을 사용한 인쇄 공법이 유리하다.

[그림 6]에서는 인쇄 방법 중 gravure printing, flexo printing, screen printing 등의 방법을 소개한다. Gravure 인쇄는 실린더의 오목 들어간 부분에 잉크를 채우고 여분의 잉크는 Dr. blade로 제거하여 원하는 기판을 다른 압착 실린더 사이에 끼워 전사하는 방법이고, flexo 인쇄는 반대로 볼록 튀어 나온 곳에 잉크를 묻혀 전사하는 방법이다.

Screen 프린트는 이와는 다르게 구멍이 뚫린 스크린 사이로 잉크를 흘려 원하는 패턴을 얻는 방법이다.

이들 방법은 모두 그림을 인쇄하는 방법으로 썬여지고 있으며, 이 때 쓰이는 잉크의 특징이 유기 반도체의 특징과 유사해 유기 반도체 소자도 이런 방법을 사용하여 초저가로 제작할 수 있는 것이다.

2-3. 연성 투명 전도성 산화물 터치 패널 기판

낮은 비저항율, 적외선-가시광선 영역에서의 우수한 투명성, 박막의 균일도 등의 장점을 통해 LCD, PDP, 유기 EL, 터치 스크린 등의 투명 전도막으로 광범위하게 사용되고 있는 ITO 증착 소자들은 유리 기판 상에서는 대부분 $1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 이하의 비저항 값을 가지는 우수한 물성을 가지고 있다.

PET필름과 같은 고분자 필름 상에 증착된 ITO 박막의 경우 고분자 기판의 낮은 용융점으로 인하여, 박막 성장 온도가 낮기 때문에 결정 구조를 가지기 힘들다.

유리기판 증착 ITO 박막에 비해 약간 높은 $7 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 정도의 비저항을 가지고 있는 ITO/PET를 pulsed laser deposition과 반응성 증착법으로 제작한 보고가 있다.

기존 ITO/고분자필름 증착 연구들은 batch type으로 작은 면적의 샘플을 제작하여 그 특성을 살폈으나 대면적 연속 공정조건하에서의 증착 특성 연구는 국내에서는 산업체에서의 대량 생산이 직접적으로 이루어지고 있으나 연구 분야에서의 보고는 많지 않은 편이다.

터치 패널용으로 [그림 7]에서와 같이 e-paper용과 터치패널용으로 구분될 수 있으며 각각에 대한 물성은 $40-50 \Omega/\square$ (150nm 두께), $500 \Omega/\square$ (30nm 두께) 정도를 만족해야한다.

사용되는 투면 전도막의 기본구조는 ITO/SiO₂/HC/PET(180micro)/HC의 구조로 이루어져 있고 HC(hard coating)layer 내에는 표면에서의 anti-reflection과 터치 패널 내부에서의 Newton ring 생성에 의한 효과 배제를 위한 수 마이크로크기의 bead들이 분산되

어 있다.

국내용은 대부분 일본의 Oike, Kimmoto 등으로 부터 전량 수입하고 있는 상황이다.

본고에서는 ITO/PET 박막의 전기적 특성과 광학적 특성의 산소 분압에 대한 의존성을 알아보기 위해 300mm 폭의 진공 roll-to-roll 장비를 이용하여 증착한 ITO/PET를 통해 스퍼터링 작동압력, 산소분압 및 증착 두께와 같은 증착 조건들의 변화에 따른 전기적 특성, 결정성, 광 투과도 등을 소개하고자 한다.

[그림 8]은 낮은 비저항을 보이는 압력조건인 1mTorr 을 중심으로 0.9~1.5mTorr 진공 범위에서 산소 가스의 혼합 비율을 0.2%로 고정 한 후 두께 변화에 따른 면저항을 측정 한 것이다.

산소분압 (PO₂)은 각각 1.8×10^{-6} Torr, 2×10^{-6} Torr 그리고 3×10^{-6} Torr에 해당하였다. 각각 ITO 박막은 180~190nm, 260~280 nm, 그리고 약 340~380nm 두께로 성장하였다.

1.5mTorr에서 가장 높은 면저항 값을 보였으며, 0.9mTorr, 그리고 1mTorr 순으로 낮은 면저항을 보였다.

비저항 (ρ) 값을 환산하여 보면 Pw=1.5mTorr의 경우 $\rho=1.1 \sim 7.1 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$, Pw=0.9mTorr의 경우 $\rho=1.05 \sim 1.3 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$ 이었다. 두께가 비교적 얇은 180~190nm에서는 각 압력 조건에 따라 비저항의 차이가 크나, 두께가 증가할수록 압력 조건의 변화에 따른 차이가 줄어들어 드는 것을 알 수 있다.

Pw=1mTorr 증착조건에서 저항값은 $t=180\text{nm}$ 에서 $52 \Omega/\square$ ($\rho=9.2 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$), $t=270\text{nm}$ 에서 $30 \Omega/\square$ ($\rho=8.1 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$),

그리고 $t=340\text{nm}$ 인 경우 $21 \Omega/\square$ ($\rho=7.5 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$)이었다.

이를 통해 비저항치가 우수한 ITO/PET 박막을 압력조건 및 증착두께 조절에 따라 증착할 수 있음을 확인할 수 있다. 압력 조건 및 증착 두께의 변화에 따른 ITO/PET 박막의 가시광선 영역 투과도를 파장 $\lambda=550\text{nm}$ 에서 측정한 결과이다.

두께가 180~190nm인 ITO/PET의 경우 89~91%의 우수한 광투과도를 보이고 있으며 두께가 260~280nm로 증가하면 86~89%로 약간 낮아졌다.

두께가 340~380nm인 경우 Pw=0.9mTorr 와 Pw=1.5mTorr 에서는 각각 82%, 80%의 비교적 높은 투과도를 유지함을 알 수 있으나 Pw=1mTorr의 경우는 67% 까지 급격히 감소함을 알 수 있었다

VI. 결론

생산성, 제작 단가, 대면적 제작 가능성의 장점을 이용한 진공 roll-to-roll 또는 전통적인 인쇄 방식의 R2R 공정은 향후 연성전자공학 제품 개발에 있어 필수적으로 이의 design 및 스퍼터 캐소드, 표면 처리 기술, 인쇄용 잉크 재료 개발, 분사 방식 등의 요소 기술 개발이 이 분야의 산업의 활성화에 중요한 연구 방안으로 대두되고 있다.

본 자료는 KIST 미래원천 (2E20793 : 차세대 TFT 재료 및 소자 기술 개발) 및 서울시 산학연 협력사업 (2G07310)의 지원하에 이루어 졌음에 감사드리는 바이다. 