인쇄전자소자 제작용 롤투롤 멀티 코터개발 및 공정연구

Development of R2R Multi-coater for printed electronics

*#김동수 [1], 이재현 [2], 김태일 [2], 임준묵 [2]

*#D.S. Kim(kds671@hanbat.ac.kr)[1], J.H. Lee[2] , T.I. Kim[2] , J.M.Lim[2]

[1,2] 한밭대학교 글로벌융합학부

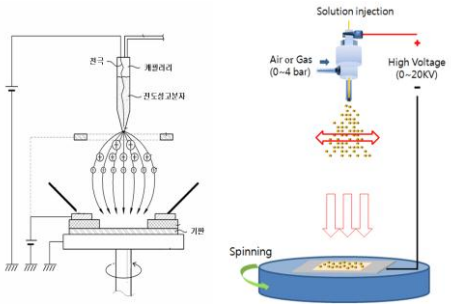
Key words : ESD(Electrostatic Deposition), Air Hybrid ESD, Micro- Gravure Coater, printed electronics

1. 서론

인쇄전자소자 공정기술은 기존의 반도체 공정기술에 비해 폐가스 99%, 폐수 95%절감과 1/1,000 의 가격절감효과가 있기 때문에 2001 년 인쇄트랜지스터 개발 이후로 미국, 독일과 영국을 중심으로 한 유럽, 일본 그리고 한국 등에서 국가차원의 막대한 예산을 투입하여, 2015 년이후 약 100 조원의 시장을 선점하기 위한 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 인쇄전자소자 중에서 대표적인 소자가 OLED 와 OPV 이며, 이들 구조를 살펴보면 투명전극필름, 반도체성 잉크, 전도성 잉크로 되어 있으며, 전면 또는 부분면 코팅층으로 되어 있다. 그리고 수십 나노에서 수 마이크로의 두께로 설계되어 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 ESD, Air Hybrid ESD, u-Gravure Coater 장비를 개발하고 공정연구를 통해 코팅두께와 표면거칠기, 코팅속도 결과 데이터를 확보하고 연속생산공정 기술 등을 비교하여 소자 개발자에게 공급하여 상용화를 앞당기는 것을 그 목적으로 하고 있다.

2. 멀티 코터 공정 및 장비 기술

OLED, OPV 같은 인쇄전자소자의 구조를 살펴보면 전면 코팅이 필요한 투명 전극층과 부분면 코팅이 요구되는 반도체잉크 및 접촉 전극층 으로 구성되며, 전면 코팅이 필요한 투명 전극층의 두께는 40nm 이하, 부분면 코팅이 요구되는 활성층 또는 발광층은 50-200nm, 버퍼층은 50nm 이하, 접촉 전극층은 1um 이상의 두께를 코팅해야 하는데, 본 연구에서는 이들 소자를 제작하기 위한 멀티 코터의 공정기술과 개발된 장비를 소개하고자 한다. 나노박막두께 코팅을 위해 먼저, 정전기력 스프레이 증착법 으로 기판상에 전도성 고분자 입자를 적층하여 투명전극을 제조하는 방법을 개발하였는데, Fig.1(a)은 ESD 시스템을 나타내는 개략도이다. 고전압이 인가되면, 전기장 집중효과에 의해 캐필러리 끝에 극도로 큰 전기장이 발생한다.

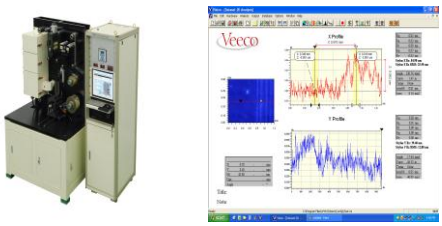


(a) ESD (b) Air Hybrid ESD

Fig. 1 Configuration of ESD(Electrostatic Spray Deposition)and Air Hybrid ESD

전기장 집중의 세기는 인가전압이 클수록, 캐필러리 끝의 외경이 작을수록 커지며, 캐필러리 끝부분에 집중 형성된 전기장은 전도성 고분자 물질을 양이온과 음이온으로 분리하여 이온화된 입자, 즉 대전된 입자들을 만든다. 대전입자들은 용액의 표면에 집중되고 표면이 불안정 해 지면서 스프레이 분사된다. 분사된 미세 방울은 전기장에 의해 기판 쪽으로 유도되고 아주 작은 입자 형태로 기판상에 적층 된다. Fig.1(b)는 기존의 ESD 의 단점인 코팅속도를 보완하기 위하여 Air Hybrid ESD 를 개발한 시제품사진 이며, 이의 특징은 스프레이 드롭의 직경에 대해서는 공기식 스프레이, 하이브리드 ESD, ESD 순이며, 코팅 스프레이 면적 측면에서는 ESD, 하이브리드 ESD, 공기식 스프레이 순이고, 코팅 스프레이 속도측면 으로는 하이브리드 ESD, 공기식 스프레이, ESD 순서로 장단점이

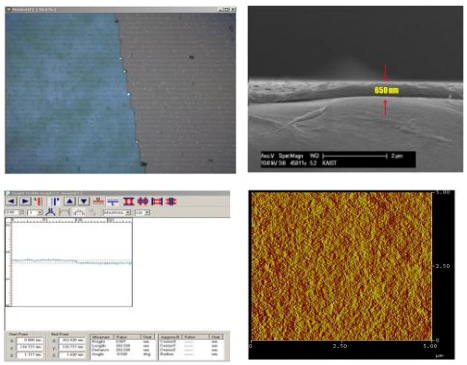
있으나, 코팅소요시간 측면에서 살펴보면, 기존의 1~2 시간 소요되는 ESD 보다는 1~2 분 소요되는 하이브리드 ESD 가 가격측면에서 유리하다. 연속적이며, 접촉식인 Fig.2(a)와 같은 PC 제어 마이크로 그라비아 코팅장비의 제작 사진이다. 이 시스템의 특징은 텐션을 정밀하게 하기 위해 변화하는 정보를 줄이는 Idle Roller 의 개수를 최소화하는 설계와 동기제어 기능의 Infeeding 전,후의 Tension 을 독립 시키는 기능이 필요하다. 또한 값비싼 잉크를 적절히 공급하기 위하여 Dispenser, 코팅유닛의 저진동 메커니즘 구성 및 Web Tension 을 정밀하게 제어하기 위한 서보 기구와 롤과 Web 의 최적의 각도유지, 다양한 잉크의 종류와 점도에 따른 건조기법의 최적 적용이 가능하게 설계하는 것이다.



(a)Micro gravure coater (b)Test result

Fig. 2 Picture of PC Direct Control RTR μ-Gravure Coater & AFM Test result

3. 멀티코터 공정실험 및 결과고찰



(a) ESD (b) Air Hybrid ESD

Fig. 3 Test Result of Coating Thickness and Roughness using AFM Tester

Fig.2(b)는 개발된 마이크로 그라비어 코터를 이용하여 속도 5mm/sec 와 웹 각도 5 도에서, 코팅두께 60nm~100nm, 표면거칠기 3nm~5nm 의 세계적인 결과를 얻었다. Fig.3(a)는 개발된 ESD 장비를 이용하여 코팅시간 1~2 시간에 코팅두께 650nm, 표면거칠기 4.6nm~9nm 의 스핀코팅 수준의 결과를 얻었다. Fig.3(b)은 개발된 하이브리드 ESD 장비를 이용하여 공기압력 각각 2,4bar 에서 코팅속도 1~2 분에 코팅두께 97nm~360nm, 표면거칠기 12nm 의 코팅속도측면에서 세계적인 결과를 얻었다. Table 1 은 3 가지 코팅장비의 특성을 요약한 결과이다.

Table 1 Comparison of measured thickness and roughness data for multi-coater

NO	ESD	Air Hybrid ESD	Micro Gravure Coater	비고
Coating Thickness(nm)	650	97-360	60-700	
Coating Roughness(nm)	4.6-9	12	3-12	
Coating Speed	1-2hr	1-2min	1-2sec	
Manufacturing Technoligy	배치형	배치형 또는 연속형	연속형	

4. 결론

인쇄전자소자를 연구하는 주체는 재료, 전자, 기계의 융합연구가 필요한 대표적인 기술이며, 용액코팅이 가능한 재료개발, 전자소자 설계대로 제작하는 기계 개발이 약 10 년이 지난 이 싯점에도 제대로 이루어지지 않아 2015 년 이후의 상용화가 그다지 쉽지 않은 상황에서, 본 연구결과는 매우 중요하다고 판단되며, 이 기술을 산업체에 이전하여 50nm 의 전면 및 부분면 코팅두께를 구현함으로써, 인쇄 OLED, 인쇄 OPV 등의 전자소자가 근 시일내에 시장에 진입하리라 사료된다.

후기

본 논문은 ATC(지경부), LINC(교과부), 공정혁신(중기청), 신임교수 연구비(한밭대)의 연구 결과 일부를 발췌한 것입니다.

참고문헌

1. 김동수 외 2 인, "투명전극제조용 PC 제어기반 마이크로 코팅장비 개발," KSME 생산 및 설계부분 춘계학술대회 논문집, 1-2,2012.

김정수 "정전기력과 공압을 이용한 하이브리드 스프레이 코팅기반의 박막 형성 기술," 박사 학위 논문, 1-49, 2012.