

솔라 셀을 위한 ESD기반의 대면적 코팅에 관한 연구

ESD(Electrostatic Spray Deposition) based large coating method for solar cell

*당현우¹, #최경현², 도양배¹, 김동수³

*H. W. Dang¹, #K. H. Choi(amm@jejunu.ac.kr)², Y. H. Doh¹, D. S. Kim³

¹ 제주대학교 전자공학과, ² 제주대학교 기계공학과, ³ 한국기계연구원 나노융합생산시스템 연구본부

Key words : ESD(Electrostatic Spray Deposition), Solar Cell, Thin Film Coating, Spray Coating, Electro Printing System

1. 서론

고유가 문제와 저탄소 녹색성장이라는 환경정책의 영향으로 저가형 그린에너지 개발 사업이 활성화 되고 있는 가운데, 친환경적인 에너지 생성에 있어 태양전지 개발에 대한 연구가 주목받고 있다. 상당히 고가의 장비로 구성된 공정 시스템과 극한의 공정 환경을 기반으로 해야 하는 기존의 실리콘 결정질 기반의 기술의 대안이 모색되고 있으며, 현재 태양전지 개발의 90% 이상이 실리콘 결정질 기반을 중심으로 이루어지고 있는데, 이에 따르는 재료비 및 공정 단가와 공정 단계에서 발생하는 오염 요소들을 최소화 하고 생산단가를 획기적으로 낮추기 위한 대안이 필요하다. 이에 따른 한 대안으로 정전기력을 이용한 분무 프린팅 기술을 통한 솔라 셀의 원천 재료를 다양한 소재에 박막으로 도포하는 기술이 연구되고 있다 [1],[2]. 정전기력을 이용한 분무 프린팅 공정은 임의의 영역에 직접적으로 프린팅을 하고, 극한의 제약적인 공전환경을 벗어나 시스템 설비가 가능하며 기존의 반도체 공정의 다양한 공정레도를 획일화 하여 간단하고, 공정시에 소모되는 에너지 자원에 대한 절대 소모량을 최소화 할 수 있다 [1]. 이는 프린팅 영역의 수 kV의 고전압을 인가하여 직접적인 접촉이 없이도 액체 상태로 존재하는 재료들을 전기장의 흐름에 따라 이동시킬 수 있는 기술로써, 이는 시료의 분자 질량분석, 초고속 정밀 박막 코팅, 등 다양한 제조분야에서 활용이 가능하다 [2],[3].

본 연구는 정전기력 기반의 분무 프린팅 공정의 메커니즘 연구와 시스템과 헤드를 개발하고 이에 따른 공정실험을 통하여 정전기력 분무 프린팅(ESD ; Electro-static Spray Deposition)의 대면적 코팅 공정 적용을 연구한다.

2. 정전기력 분무 프린팅

정전기력 분무는 정전기력 프린팅 기술을 기반으로, 정전기력 분무는 노즐과 타겟 사이에 걸려있는 고전압에 의해 발생된 전자장에 의해 시료를 분무 형태로 타겟까지 이동시키는 기술이다. 전도성 또는 비전도성의 특성을 띄는 시료를 극미세경 노즐에 공급하고, 노즐과 타겟에 직접 또는 간접적으로 고전압을 인가해 준다. 이때, 발생하는 정전기력은 시료가 극미세경 노즐의 끝단을 통과할 때 무수히 많은 전하를 띄게 하는 이온액체를 형성하게 하며, 테일러 콘(Taylor cone)형태로 노즐의 끝단에 메니스커스(Meniscus)가 형성된다 [1]. 결국 시료 내부에 양이온들이 극미세경 노즐 끝단에 맺혀 있는 시료들의 가장자리에 분포하게 되고, 이는 타겟에 걸려있는 노즐과의 반대된 전극에 의해 서서히 끌리게 되는데, 이 힘이 시료가 지니고 있는 표면장력에 영향을 미치게 되고, 타겟 방향으로 끌리는 힘이 표면장력의 힘을 넘어서면 시료는 타겟을 향해 분무상태를 취하게 된다 [1],[4].

3. 시스템 구성

정전기력 분무 프린팅을 위한 시스템의 구성은 Fig. 1에서와 같이 초정밀 스테이지, 시스템 컨트롤러, 초고속카메라, 전원공급장치, 잉크공급장치, 프린팅 노즐로 구성되며 시스템의 초정

밀 스테이지는 노즐에서 분무되는 시료의 코팅 영역의 균일도를 조정하고, PC기반 시스템컨트롤러의 오토컨트롤 프로그램을 이용하여 제어한다. 노즐에서 분무되는 미립자들과 노즐 끝단에 형성된 메니스커스의 계측과 형상 촬영 위해 초고속 카메라를 설치하고, 광원과 카메라의 포커스를 메니스커스보다 분무가 이루어지는 미립자 영역에 맞추어 미립자를 촬영하게 한다. 또한 해상도를 낮추고 프레임수를 증가시켜 보다 많은 양의 모니터링 영상을 유도하였다. 정전기력 분무 메커니즘의 기본이 되는 프린팅 노즐은 시료에 고전압 인가를 위해 노즐의 구조체를 메탈로 구성하고 고전압발생장치를 통하여 노즐과 시료에 직접적으로 고전압을 인가하였다. 시료의 유량을 정밀 제어하기 위하여 유량제어펌프를 이용하여 시료를 공급하였고, 모든 시스템은 PC기반의 컨트롤러를 통하여 매뉴얼 또는 자동제어가 가능토록 구성하였다.

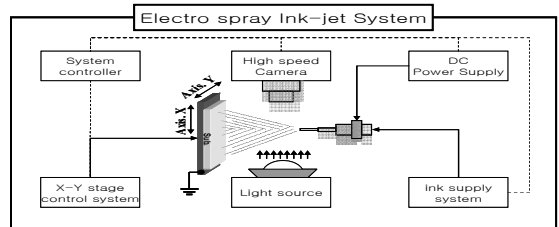


Fig. 1 Schematic of experimental device

4. 공정실험

정전기력 기반의 분무 프린팅 공정의 메커니즘과 분무 노즐을 적용하여 정전기력 분무프린팅 시스템을 개발하고, 공정실험을 통하여 대면적 박막 분무 코팅 공정 적용한다. 공정실험의 중요한 요소는 DC전압과 노즐, 콜렉터간의 거리, 정밀 시료 공급 펌프를 이용하여 유량을 가변, 마지막으로 스테이지의 이동 속도이다. 이와 같은 공정 요소는 미세한 변수로 공정실험에 큰 영향을 미치게 되어, 공정실험 전 많은 메커니즘 분석과 반복적인 실험을 통한 증명이 필요하다. 또한 극미세경 노즐의 경우 듀얼 홀 구조로 형성되어 모세관 내부에 또 다른 모세관이 존재하는 형태로 각각의 내경 사이즈는 ID:150um, ID:410um이다.

공정실험의 진행은 잉크공급장치를 이용하여 노즐에 잉크를 공급하고, 고전압 공급장치를 통하여 DC bias를 인가해준다. 이때, 노즐 끝단과 컬렉터와의 간격을 클수록 분무시스템의 범용화가 가능하게 되고, 컬렉터간의 간격은 3mm에서부터 서서히 간격을 늘려주어 전압을 인가하며 노즐 끝단의 메니스커스 형상을 모니터링 하였다. 컬렉터는 35um의 박막 구리 필름을 사용하고 대면적 플레이트형태로 구성하여 분무 모드에서 시료의 미립자들이 이동을 용이하게 하였다.

또한 스테이지의 이동방향과 속도는 분무되는 미립자들이 기관에 안정적으로 안착 되어지는 것에 영향을 미치게 된다. 이는 공정 도중 측정 및 수정이 난해하므로 다양한 분무 공정 조건을 확보 후 정형화된 파라미터를 기반으로 스테이지 이동에

다른 변수를 적용하는 것이 용이하다. 박막 유리와 PI 필름을 기판으로 사용한 공정 결과로 Table 1, 2와 같은 공정조건을 얻을 수 있었다.

Table 1 Spray experimental condition (ITO ink)

Applied Voltage [Kv]	9.8
Applied Ink Flow rate [ul/hr]	1000
Nozzle-Substrate distance [mm]	30
stage velocity [mm/s]	12
Ground type	Copper Plate

Table 2 Spray experimental condition (ITO ink)

Applied Voltage [Kv]	9.9
Applied Ink Flow rate [ul/hr]	1000
Nozzle-Substrate distance [mm]	50
stage velocity [mm/s]	12
Ground type	Copper Plate

4. 실험 결과 및 고찰

도출된 공정조건을 적용하고 신뢰성 확보를 위하여 반복적으로 공정실험을 진행한다. 또한 공정실험에서 실제 솔라셀 제조 기반의 되는 ITO 잉크를 사용함으로써 솔라셀 제조 공정의 기반 기술을 제안 할 수 있었고 공정실험의 결과는 Fig. 2, 3과 같이 SEM (Scanning Electron Microscope)영상과 초고속카메라를 통하여 분석하고 도출한다.

Fig. 2는 유리와 PI를 기판으로 이용하여 ITO를 스프레이 코팅한 결과물을 SEM으로 촬영한 이미지이다. (a)이미지는 유리 코팅의 측면을 촬영하여 코팅되어진 높이를 측정하고 하였다. 높이는 $\approx 0.514\mu\text{m}$ 로 측정되었으며, X23,000의 배율로 촬영하였다. (b)는 코팅 면적의 균일도를 측정하기 위한 이미지이며, X85,000의 배율로 촬영을 하였다. (c)의 이미지 또한 PI필름의 측면을 촬영한 이미지이고, $44.84\mu\text{m}$ 의 높이를 측정하였다. (d)는 PI필름 코팅 면적의 균일도를 보여주고 있으며, X1,000배율로 촬영하였다.

Fig. 3은 전체적인 스프레이 형상과 메니스커스를 관찰 할 수 있는데, 고전압이 인가된 극미세경 노즐에서는 예서는 전기장의 영향으로 많은 전하를 갖는 이온성 액체형성이 되고, 노즐의 아웃렛(outlet)에 양이온을 갖는 시료들의 분포하게 되면서 오른쪽 그림과 같은 테일러 콘(Taylor cone)이 형성된다. 이 후 양이온들로 둘러 싸여진 테일러 콘의 표면에서는 컬렉터 단으로 시료가 끌림 현상을 보이는데, 이 힘이 시료의 표면 장력에 영향을 미치게 되고, 표면장력의 힘을 넘어 서게 되었을 때 노즐에서는 시료가 분출하게 되고, 왼쪽 그림과 같은 스프레이 모드를 형성 할 수가 있다.

5. 결론

본 연구에서는 일반적인 박막 코팅 기술을 벗어나 정전기력 잉크젯 시스템 방식을 응용한 정전기력 분무 방식을 적용하고, 시스템 운영과 공정 조건의 변수를 최소화 하기위해 단일 전압원만을 적용하여 스프레이 모드를 형성화 시켰다. 반복적인 실험을 통하여 시스템의 보다 범용적인 특성을 강화하기 위해 분무 면적을 일정한 범위로 한정하고, 노즐과 기판간의 간격을 최대화 하여 반복적인 이동성을 띄는 roll to roll시스템 또는 3D구조체에 적용을 가능하게 하여 보다 신뢰성 있는 공정조건을 도출해 낼 수 있었다..

후기

본 연구는 지식경제부의 협동 연구 사업으로 수행 되었습니다.

참고문헌

1. Hak Fei Poon, 2002, "electrohydrodynamic printing", Faculty of Princeton University in Candidacy for the degree of Doctor of Philosophy, pp. 7~32.
2. Youngjin Kang, Hyungho Park and Sangsoo Kim, "Characteristics of Electro spray using Multi-Nozzle System", 대한기계학회지, 5, 2542-2547, 2005
3. S. H. Ahn, H. Yoon, H. J. Lee, H. J. Jeon, H.N. Lee, G.M. Park, G.H. Kim, "Fabrication of PMMA nano/microbeads using a modified electro spray method", 한국정밀공학회지, 11, 267-268, 2008
4. Teo, W. E. and Ramakrishna, S., 2006. "A review on electrospinning design and nanofibre assembly". Institute of Physics Publishing Nanotechnology, Vol. 17, No. R, pp. 89~106.

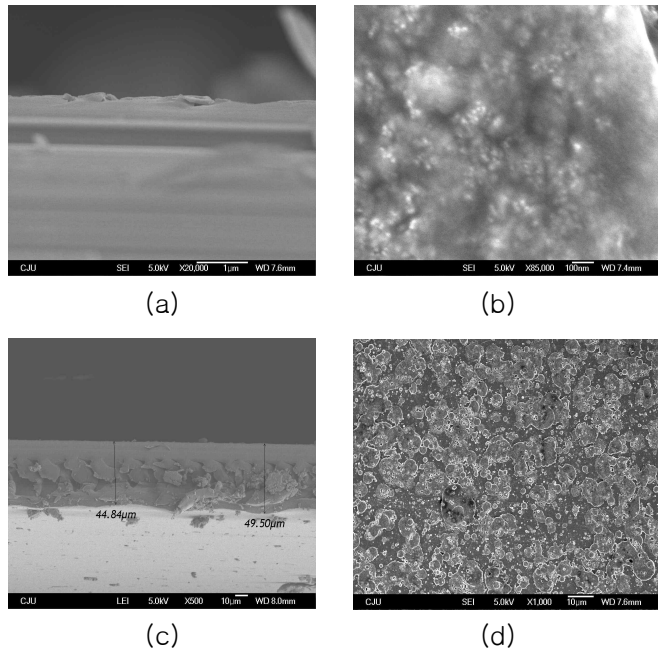


Fig. 2 SEM image of electro sprayed micro/nano size ITO coating (a)side view of glass substrate, (b) surface view of glass substrate, (c)side view of PI substrate, (d)surface view of PI substrate

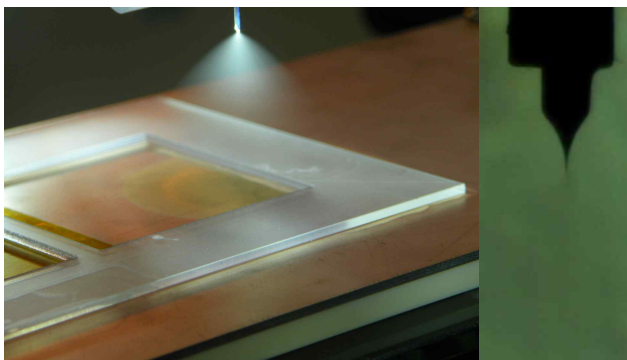


Fig. 3 left image is spray form and right image is meniscus form