



스프레이 박막 코팅을 이용한 OPV제작

김정수, 김동수, 조정대, 김인영
| 한국기계연구원

[요약문]

최근 신재생에너지, 녹색성장분야의 연구는 미래 산업의 핵심 기술로 평가되고 있다. 특히나 태양전지 분야는 미래 대체 에너지 기술로서 크게 각광 받고 있으며 과거 실리콘 기반의 전력 생산용 태양전지 기술이 추가 되었지만 근래에는 모바일 기기의 보조 전력, 스마트 윈도우 등 다양한 산업에 적용 가능한 박막 태양전지 기술이 급속도로 발전을 하고 있다. 현재 박막 태양전지 기술은 아직까지는 산업화 기술에 근접하지 못하고 있지만 향후 5년이내에는 다양한 형태로 산업화가 이루어 질 것으로 예측하고 있다. 따라서 본 논문에서는 박막형 태양전지 중의 하나인 OPV 태양전지의 산업화 적용을 위해 스프레이 공정 기술과 이를 이용하여 OPV 소자를 제작한 내용에 대해 기술했다.

1. 서론

근래 들어 심각한 환경오염과 화석에너지 고갈로 인해 차세대 청정에너지 개발에 대한 중요성이 증대되고 있다. 그 중에서 태양광산업은 공해가 적고 자원이 무한적이며 반영구적인 수명을 가지고 있어 미래의 에너지 문제를 해결할 수 있는 에너지원으로 기대되고 있다. 태양광발전의 경우 2000년대 이후 연평균 38%의 설치 증가율을 보이고 있으며 다른 신재생에너지(풍력 28%, 바이오매스 3.5%, 지열 3.0%)에 비해 가파른 성장세를 보이고 있다. 유럽신재생에너지협회에 의하면 현재 태양광에너지의 사용비중은 전체 신재생에너지 중 0.1% 수준에 불과하나 향후 고성장세를 지속하여 2040년경에는 전체 에너지 대비 약 25%, 신재생에너지 대비 30% 이상을 점유할 것으로 예측되고 있다.¹⁾ 최근 이러한 추세에 부응하여 태양광 산업의 핵심기술인 태양전지 산업도 크게 성장하고 있다. 2007년 기준 세계 태양전지 시장은 약 60억달러에 이르는 것으로 추정되고 있으며 1999년 287MW에 불과하던 생산량이 2006년에는 연평균 43.5% 성장하여 약 2,536MW를 기록하였고, 2010년 태양전지 시장규모에 대한 전망은 관련 업체나 조사기관마다 큰 편차를 보이지만 시장 전망치는 최근 상향 조정되는 추세를 보이고 있으며 Photon International은 2006년에 2010년 태양광 발전 규모를 10GW 수준으로 예측하였으나 최근 발표를 통해 14GW로 상향조정하였다. 또한 CLSA(Credit Lyonnais Securities Asia)의 경우 2004년 예상치 5.2GW를 6GW로 상향한 이후 2006년 4월에는 다시 10GW로 상향조정하였다.²⁾

최근 이러한 태양전지 산업의 긍정적 미래는 많은 사람들의 기대와 연구로 이어지고 있고 현재 태양전지가 가진 기술적 어려움을 다양한 형태로 개선하고 보완하여 지속적인 산업의 확대로 발전하고 있는 실정이다. 태양전지는 크게 2가지 형태로 분류할 수 있다. 이중 가장 대표적인 것으로 결정질 실리콘 태양전지를 들 수가 있다. 실리콘 태양전지는 태양전지 산업의 90%를 차지하고 있다. 그러나 2000년 이후 실리콘 원재료 및 실리콘 기관 수급 문제가 발생하여 태양전지 제조단가가 상승하게 됨으로써, 태양전지는 효율 향상이라는 과제 외에도 원자재 수급 및 제조단가 문제를 해결해야 하는 상황에 직면하고 있다. 따라서 최근 태양전지 산업은 박막형 태양전지 산업으로 급속도로 확산되고 있는 실정이다. 박막형 태양전지는 대표적으로 유기 태양전지(OPV), CIGS 태양전지, 염료 감응형 태양전지 등이 있다(그림1).

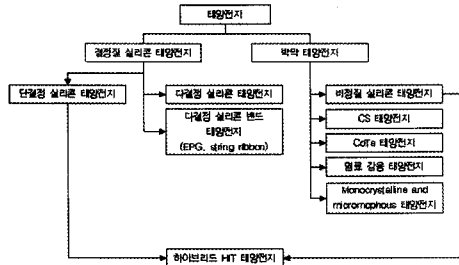


그림 1. 태양전지의 종류 (출처: 데이코산업연구원)

2. OPV 소개

유기 반도체는 합성 방법이 다양하고 섬유나 필름 형태로 성형이 용이하며 상대적으로 제조비용이 저렴하다. 또한 유기 반도체를 이용하면 100°C이하의 온도에서 소자 제조가 가능해지므로 플라스틱 기판의 사용이 가능하다. 또한 스핀 코팅(spin-coating), 잉크젯 프린팅(ink-jet printing) 등의 대면적 소자제작 방법으로 각종 플렉시블 소자 (flexible device)의 공정과정을 단순화하여 제작 단가를 낮출 수 있다. 플렉시블 유기태양전지는 경제성 외에도 휘어지는 플라스틱을 소재로 했다는 점에서 벽지, 옷, 커튼, 입는 컴퓨터, 휴대용 전자신문, 휴대용 전자기기 등 활용분야가 넓어 새로운 블루오션을 창출할 수 있을 것으로 기대된다(그림 2(a)). 실제로 미국의 Komarka, 산타바바라 대학, 광주과학기술원 등에서는 유기태양전지의 발전 및 실용화 가능성에 주목하여 본격적으로 개발하고 있다(그림 2(b)).



(a) 벽지, 옷, 휴대용 전자제품 전원 등

(b) 선진국의 유기태양전지 개발 사례

그림 2. 유기태양전지 응용 분야 및 선진국 개발 사례

유기 태양전지는 1970년대부터 그 가능성이 제시되어 왔지만, 효율이 너무 낮아 실용성이 크지 않았다. 하지만 1980년 이후에 반도체 고분자와 C₆₀의 유도체를 이용한 고분자 태양전지가 개발되면서, 유기 태양전지에 대한 관심과 연구가 증폭되었다. 이들 태양전지는 초기에 1% 전후의 효율을 보였으나, 최근 몇 년간의 집중적인 연구로 인해 현재 8.13% 정도의 에너지 전환 효율이 발표되고 있다. 과거 다른 박막 태양전지에 비해 낮은 에너지 전환 효율이 OPV에서는 산업화에 가장 큰 걸림돌로 작용하였으나 산업화 가치로써의 박막형 태양전지의 기준이 되는 8%의 에너

그림 3. Solarmer의 OPV 8.13% 효율 달성

지 변환 효율을 극복하였다는 것은 최근 OPV에서 가장 큰 이슈가 되고 있다(그림 3).

OPV의 효율을 향상시키기 위해 유기 광전 변환층 제조 공정과 재료 개발에 초점을 맞추어 연구가 진행되고 있다. OPV의 효율을 제한하는 큰 문제 중의 하나는 벌크 상태에서 유기물내의 캐리어(전자와 정공)의 이동 속도가 느리다는 것이다. 유기물은 무기물에 비해 계면의 상태, 결정면, 분자사슬간의 결합으로 이동 속도를 제한하고 있다. 따라서 이동 속도 향상을 위한 많은 연구가 진행되었는데, 박막형성 시 모폴로지 개선법, 박막형성 후 열처리를 이용한 유기 반도체의 결정성 향상법이 있다. 또한 현재 유기태양전지에 사용되는 상당수의 물질들은 태양광 스펙트럼을 충분히 흡수할 수 있는 파장대를 가지고 있지 않다. 따라서 최근 Solarmer등에서는 태양광을 충분히 흡수할 수 있는 작은 밴드 갭의 물질 개발에 관한 연구를 하였고 그 결과 8%이상의 OPV 셀이 개발되었다. 이러한 OPV의 효율의 증가는 산업화 기술로써의 적용이 가능함을 나타내고 있으나 실제 셀 제작 공정 기법에서는 반도체 공정인 스핀 코팅, 진공증착등이 주로 이용이 되고 있다. 이러한 반도체 공정 기법은 기본적으로 독립 프로세서 방식의 공정을 추구하고 있으며 산업화적인 측면에서의 저가 대량생산의 공정기법과는 거리가 있다. 따라서 최근 Konarka, RISO DTU 등에서는 연속 공정 기법의 Roll-to-Roll 생산 시스템과 인쇄전자 공정을 도입하여 저가의 OPV 소자 제작 시스템을 지속적으로 연구하고 있다.

3. Spray 기법을 이용한 박막 코팅 공정

최근의 인쇄 전자 기술은 기존의 다양한 인쇄 공정 기술에 유기 전자 재료를 적용함으로써 산업화에 가까운 생산 시스템의 구축이 가능하도록 하기 때문에 선진국 등에서는 많은 연구와 투자를 하고 있는 기술 중의 하나이다. 이러한 인쇄 공정 기술은 대표적으로 점착식과 비점착식으로 나눌 수가 있는데 비점착식 공정 기술 중 현재로써 가장 적용 가능성이 높은 기술로 잉크젯과 스프레이 코팅 분야를 들 수 있다. 잉크젯 기술은 잉크젯 헤드를 이용하여 주로 유기 전자 재료를 일정한 형태로 패터닝하는 기술로 점목되며 스프레이 코팅 기술은 얇은 박막 형태로 전체 혹은 일부분의 면적을 코팅하는 기술로 주로 활용된다.

본 연구에서 스프레이 코팅 기법을 활용한 이유는 OPV는 유기 재료들이 다층의 박막형태로 구현되고 있기 때문에 이러한 박막 코팅 기술에 적용이 가능하다면 Roll-To-Roll과 같은 연속 생산 시스템에 적용이 가능한 인쇄 공정이 구현 될 것이기 때문이다.

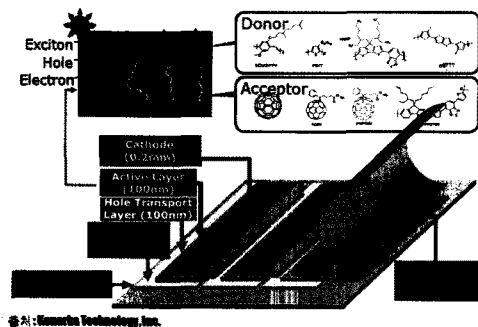


그림 4. 다층 박막 형태의 OPV 셀 구조

3.1 ESD spray 기법을 이용한 투명 전극 형성 기법

OPV 셀의 기본구조는 그림 4와 같이 애노드(anode) 전극과 캐소드(cathode) 전극 사이에 폴리머(polymer)와 같은 유기물질로 광전 변환 층을 형성한다. 유기 태양전지의 저가격화를 위해서는 애노드 전극, 캐소드 전극, 광전

변환 층 모두 인쇄 공정을 이용하여 Roll-To-Roll 방법으로 제조되어야 한다. 광전 변환 층은 유기반도체를 용액 형태로 그라비아 프린팅(Gravure printing), 스펀코팅이나 잉크젯 프린팅과 같은 방법으로 형성될 수 있다. 캐소드 전극은 일반적으로 진공 열 증착으로 형성되고 있으나, 나노입자 잉크나 페이스트를 이용하여 다양한 프린팅 기법으로 형성될 수 있다.

그러나 기존의 유기 태양전지는 애노드 전극으로 투명하고 전기 전도성이 있는 ITO를 주로 사용하고 있다. ITO는 값이 비싼 인듐(In)을 주성분으로 사용하고 있고, 전극 박막 제조를 위해 진공 공정을 필요로 하므로 제조비용이 높을 뿐만 아니라, 쉽게 부서지거나 깨지는 특성 때문에 유연성을 요구하는 플렉서블(flexible) OPV에 부적합하다. 졸겔법을 이용한 ITO 분산액의 경우 프린팅 공정을 이용하여 전극을 제조할 수 있기 때문에 스퍼터 공정으로 형성된 ITO에 비해 제조비용은 저렴하지만 전도성이나 투명도 등이 매우 부족하다. OPV 투명전극 재료로는 유연성, 접착성, 열팽창특성, 프린팅가능성 등을 고려하였을 때 플라스틱 기판과 물성의 조화를 가장 잘 이루는 유기물 재료를 이용하는 것이 바람직하다. 현재 가장 많이 연구되고 있는 것은 전도성 고분자를 이용한 투명 전극으로 아직 투과도 대비 전도도 특성이 ITO에 못 미치고 있다.

따라서 OPV 개발을 위한 핵심적인 사항은 애노드 투명전극을 프린팅 공정방법으로 쉽게 형성하되 기존의 금속산화물 투명전극에 필적할 만큼의 우수한 전기적 특성을 가지는 것이다.

정전기 스프레이 잉크젯 프린팅법(Electrostatic Spray Inkjet Printing)으로 기판상에 전도성 고분자 입자를 적층하여 투명전극을 제조하는 방법을 개발하였다. 그림 5는 정전기 스프레이 프린팅 시스템을 나타내는 개략도이다. 먼저 기판 홀더 상에 기판을 배치하고, 전도성 고분자 잉크를 캐필러리 안에 담는다. 그 다음, 기판 홀더가 접지된 상태에서 캐필러리 안의 전도성 고분자 잉크에 전압을 인가한다. 고전압이 인가되면, 전기장 집중 효과에 의해 캐필러리 끝에 극도로 큰 전기장이 발생한다. 이때의 전기장 세기는 E_c 는 다음과 같다.

$$E_c = \frac{2V_c}{r \ln(4d/r_c)}$$

여기서 V_c 는 인가 전압, r_c 는 캐필러리 끝의 외경, d 는 캐필러리와 기판 간의 거리이다. 이 식에서 알 수 있듯이 전기장 집중의 세기는 인가전압이 클수록, 캐필러리 끝의 외경이 작을수록 커진다. 캐필러리 끝부분에 집중 형성된 전기장은 전도성 고분자 물질을 양이온과 음이온으로 분리하여 이온화된 입자, 즉 대전된 입자들을 만든다. 대전 입자들은 용액의 표면에 집중되고 표면이 불안정해지면서 캐필러리로부터 제트 분사된다. 분사된 미세 방울은 전기장에 의해 기판 쪽으로 유도되고 아주 작은 입자 형태로 기판 상에 적층된다.

투명전극의 전기적 특성을 살펴보기 위해 실험을 실시하였다. 기판으로는 일반적인 OHP 필름을 사용하였고, 전도성 고분자 잉크는 H. C. Starck사의 PEDOT:PSS (PH 500)와 DMSO를 적정 비율(5~7%)로 혼합하여 사용하였다. DMSO는 전도성 고분자인 PEDOT:PSS의 전기 전도성을 향상시키는 역할을 한다. 정전기 스프레이 잉크젯 프린팅 시스템의 인가전압은 7kV이며, 프린팅 후 120°C에서 30min간 충분히 건조 공정을 진행하였다. 전기적 특성 분석은 4점 프로브 시스템(4-point probe system)을 이용하여 면저항을 측정하는 것으로 하였다. 면저항 값이 균일하면서 평균값이 120Ω/□ 전기적 특성을 나타내었다. 그림 6은 전도성 고분자 투명전극의 광학현미경 사진과 AFM 이미지이다. 전도성 고분자 투명전극의 표면거칠기가 약 4.6nm에 불과하며 균일도가 우수하였고, 투명성과 유연성이 매우 뛰어남을 알 수 있다.

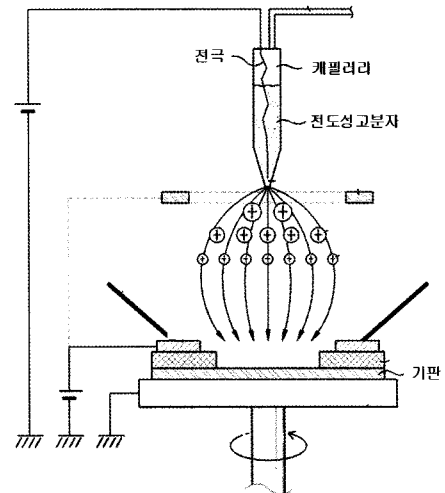


그림 5. 정전기 스프레이 잉크젯 프린팅 시스템



그림 6. 전도성 고분자 투명전극의 광학현미경 및 AFM 이미지

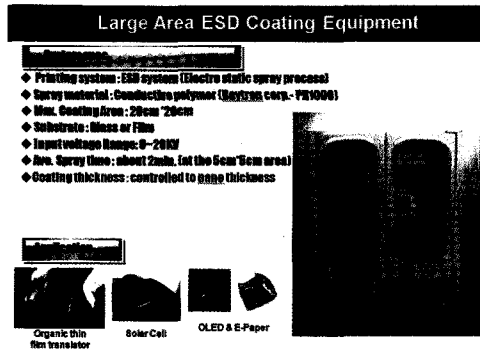


그림 7. 대면적 ESD 스프레이 박막 코팅 시스템

또한 대면적 연속 생산 시스템을 위해 공급과 정전기력을 혼합한 하이브리드 타입으로 대면적 ESD 스프레이 박막 코팅 시스템을 구축하였다. 대면적 ESD 스프레이 박막 코팅 시스템은 상굴 노출로 최대 20cm*20cm의 기판 코팅이 가능하며 향후 약 20cm 폭의 웹에서 연속적인 Roll-To-Roll 박막 코팅 시스템의 적용이 가능한 시스템이다. 대면적 시스템에는 앞선 소면적 시스템에서 적용용 PEDOT:PSS에 비해 약 2배의 전기전도도를 갖는 PEDOT:PSS (PH 1000)를 적용하였으며 앞선 실험과 유사한 비율(5~7%)로 DMSO를 첨가하여 테스트 셀의 제작 크기인 5cm*5cm 글라스와 필름 위에 투명전극을 형성하였다. 550nm 파장대에서 약 80%의 상대투과도를 나타내었으며 면저항은 약 66Ω/□, 박막 코팅 두께는 약 360nm를 나타내었다.

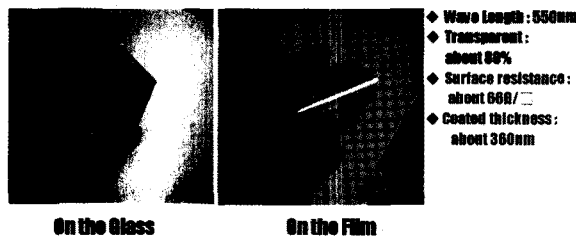


그림 8. 5cm*5cm 기판에서의 투명전도막 형성 실험 결과

3.2 ESD spray 기법을 이용한 OPV용 버퍼층 및 셀 제작 실험

앞선 투명 전극 실험을 통하여 ESD 스프레이 코팅 기법에 대한 기초 실험을 수행 하였으며 이를 기반으로 ITO 글



라스 기판위에 OPV 셀 제작을 위한 버퍼층 형성을 실험하였다. 이는 기존 OPV 셀의 일반적인 실험 특성상 ITO 위에 PEDOT:PSS가 약 40nm의 얇은 박막을 형성 한 후 OPV 셀의 빛에 반응하는 활성층인 P3HT:PCBM 물질을 코팅하여 셀이 구현 되기 때문이다. 따라서 본 실험에서는 ESD 스프레이 기법을 이용하여 가능한 편 흡이 존재 하지 않는 얇은 PEDOT:PSS층의 형성 실험을 통해 셀 제작 공정으로써의 ESD 스프레이 기법의 적용성을 측정 하였다.

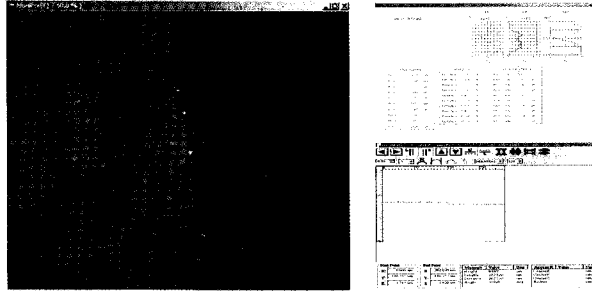


그림 9. 97nm 두께의 PEDOT:PSS (Al4083) 버퍼층 형성 실험 결과

그림 9는 일반적인 OPV에서 적용이 가능한 버퍼층용 PEDOT:PSS를 ESD 스프레이 코팅 기법을 통하여 형성한 실험 결과이며 약 97nm 두께의 박막이 형성 되었다. 표면조도는 포인트 별로 약 9~12nm를 가졌으며 일반적인 스핀코팅의 표면조도 인 9nm와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 스핀 코팅 시에 형성이 가능한 40nm이하의 두께에서는 편 흡등의 불안정한 부분들이 존재하여 최하 형성 가능한 두께는 약 97nm로써 100nm 부근으로 형성이 가능하였다.

ESD 스프레이 코팅 기법을 이용하여 현재 OPV에 적용 가능한 PEDOT:PSS의 버퍼층과 P3HT:PCBM의 활성층에 대한 박막을 형성하고 그 위에 LiF와 AL을 증착하여 진공증착하는 방식으로 접촉 전극을 형성하였다. 이와 같은 셀 구조는 현재 메탈 전극층에 대한 인쇄 기법으로 많은 연구를 필요로하고 있고 재료의 개발이 진행되어야 하므로 아직까지는 반도체 공정 기법에 의존하는 경향이 높다. 따라서 본 실험에서도 ESD 스프레이 박막 형성의 가능성을 판단하기 위해서 OPV 셀의 구조 중 PEDOT:PSS의 버퍼층과 P3HT:PCBM의 활성층만을 적용하여 그 효율을 측정 하였다. 그림 10은 셀의 구조와 구현된 셀의 두께를 나타낸 것이다.



그림 10. ESD 스프레이 공정을 적용한 OPV 셀 구조

최종적으로 셀은 약 1.41%(1cm*1cm)의 효율을 나타내었다. 일반적으로 스핀코팅 및 진공 챔버에서 제작된 셀 이 평균 약 3% 정도의 효율을 나타내는 반면 본 공정에서는 대기 중의 노출과 박막의 최적화 문제 등에 의해 레퍼런 스 대비 약 50%정도의 효율이 달성되었으며 더불어 ESD에서 가해지는 고전압이 박막 형성 시에는 좋은 특성을 보 일 수 있으나 셀 구현에서는 나쁜 특성을 나타낼 것으로도 예측이 되었으며 스프레이 공정의 특성을 더 분석하기 위 해 P3HT:PCBM층만 스프레이 코팅 공정을 적용한 실험을 추가로 진행하였다. 더불어 보다 높은 효율을 나타낼 수 있도록 P3HT:PCBM 혼합액의 용제인 다이클로로벤젠을 클로로벤젠으로 대체하였다. 선행 연구를 통해 일반적으로 다이클로로벤젠의 경우 활성층을 형성한 후 샬렛 등에 30min~1h정도 셀을 보관함으로써 솔벤트 어닐링 효과를

통해 높은 효율을 나타내기 때문에 스프레이 분무와 같은 작은 입자들을 이용한 박막 형성의 경우 박막이 형성되는 동안 빠른 건조가 이루어져 솔벤트 어닐링 효과가 작게 나타날 수 있다. 따라서 클로로벤젠을 이용하여 솔벤트 어닐링 없이 최종 셀 제작 후 150℃에서 약 30분 정도로 어닐링하는 써멀 어닐링 효과를 적용하였다. 또한 PEDOT:PSS 층은 스핀코팅을 통해 약 40nm 부근으로 최적화를 수행하였다. 더불어 전기적 영향을 최소화 하기 위해 순수 공압만을 이용하여 스프레이 코팅 공정을 수행하였다.

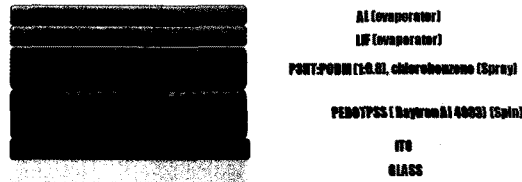


그림 11. 공압 스프레이 공정을 적용한 OPV 셀 구조

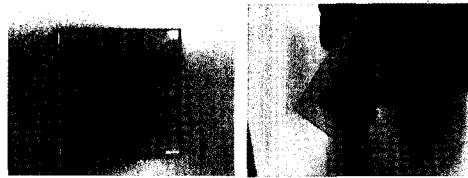


그림 12. 최종 제작된 1cm*1cm의 OPV 셀

그림 11은 공압 스프레이 공정을 이용한 OPV 셀의 구조를 나타내며 이 셀의 경우 2.54%의 효율을 나타내었다. 이는 레퍼런스 셀에 비해 약 80%의 성능을 나타내었으며 앞선 ESD 스프레이 코팅에 비해 보다 좋은 결과를 가져왔다. 물론 이는 클로로벤젠 기반의 써멀 어닐링 효과와 PEDOT:PSS층의 최적화에 따른 성능 향상으로 볼 수 있으나 ESD의 고전압에 대한 영향도 예측은 가능하다. 하지만 현재 ESD 스프레이 공정을 적용한 OPV 셀에 대한 연구가 많이 진행되지 못하였기 때문에 고전압 데미지에 대한 셀의 효율 하락은 정의 할 수 없는 부분이라고 볼 수 있다. 향후 보다 많은 실험을 통해 고전압과 OPV 셀과의 관계와 그 영향에 대한 연구를 수행할 계획이다.

4. 결 론

본 연구에서는 OPV 셀의 구현에 있어 연속 공정이 가능한 다양한 공정 기법 중 ESD 혹은 공압 스프레이 방식의 공정 기법을 제안하였으며 그에 따라 각각의 공정을 적용하여 셀을 직접 제작하였다. 첫 번째로 ESD 스프레이 코팅 기법을 이용하여 OPV에 적용이 가능한 면저항 66Ω/□의 투명 전극을 형성하였다. 이러한 투명 전극은 향후 ITO를 대체한 ITO-free OPV 셀의 제작에 활용될 것이다. 두 번째로는 ESD 스프레이 코팅 기법을 이용한 PEDOT:PSS의 버퍼층 구현과 P3HT:PCBM의 활성층 구현을 통해 OPV 셀을 제작하고 그 효율을 측정하였다. 초기 적용성에 대한 실험으로 약 1.41%의 상대적으로 낮은 효율을 나타내었으나 기본적으로 대기중의 연속 공정이 적용 가능한 기법을 이용하였다는 점에서 향후 Roll-To-Roll 생산 시스템에 적용이 가능한 기법임을 알 수 있다. 좀더 나은 최적화 연구가 수행된다면 보다 높은 효율을 기대 할 수 있을 것이다. 마지막으로 공압 스프레이 박막 코팅 기법을 이용하여 P3HT:PCBM의 활성층을 구현한 OPV 셀을 실험하였다. ESD 스프레이 기법에 비해 보다 효율 향상이 기대되는 용제를 사용하였고 PEDOT:PSS층을 스핀 코팅하였기 때문에 보다 높은 효율인 2.54%를 구현하였다. 이는 전부 스핀 코팅이 적용되는 레퍼런스 OPV 제작 셀과 비교할 때 약 80%의 성능을 나타내었다. 1cm*1cm 크기의 셀에서 약



2.54%의 수준은 현재 연속 공정 최고 수준인 Konarka의 3%에 근접한 기술이며 향후 더욱 지속적인 연구를 통해 높은 효율과 대면적을 구현하고자 한다. 끝으로 본 실험을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 Roll-To-Roll에 적용된 연속 생산의 OPV 셀을 제작하고 연구함으로써 박막 태양전지의 산업화를 더욱 앞당길 것이다.

❁ 참고 문헌

- [1] 안혜영외, “국내의 태양전지 업체 및 시장현황”, 하나산업정보 2008.
- [2] Rayleigh FRS “On the equilibrium of liquid conducting masses charged with electricity” Phil Mag 14(5):184, 1882.
- [3] B. D. Martin, B. P. Gaber, C. H. Patterson, and D. C. Turner, “Direct protein microarray fabrication using a hydrogelstamper”, Langmuir, vol. 14, pp. 3971–3975, 1998.
- [4] A. Curtis, and C. Wilkinson, “Nantotechniques and approaches in biotechnology”, Trends in Biotechnology, vol. 19, pp. 97–101, 2001.
- [5] V. N. Morozov, and T. Y. Morozova, “Electrospray Deposition as a Method To Fabricate Functionally Active Protein Films”, Anal. Chem., vol. 71, pp. 1415–1420, 1999.
- [6] J. D. Newman, A. P. F. Turner, and G. Marrazza, “Ink-jet printing for the fabrication of amperometric glucose biosensors”, Anal. Chim. Acta., vol. 262, pp. 13–17, 1992.
- [7] R. B. Cole, “Electrospray Ionization Mass Spectroscopy,” Wiley–Interscience, 1997.



김 정 수

- 한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부
- 프린팅공정자연모사연구실 연구원
- 관심분야 : ESD, OPV, OLED, Inkjet
- E-mail : haruki@kimm.re.kr



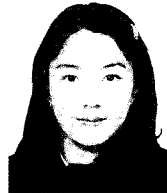
김 동 수

- 한국기계연구원 선임연구본부장
- 관심분야 : Printed electronics, Roll-to-Roll, Printing Technology, SFFS
- E-mail : kds671@kimm.re.kr



조 정 대

- 한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부
- 프린팅공정자연모사연구실장, 책임연구원
- 관심분야 : 인쇄정보표시장치 및 소자, 소프트웨어스 그래픽기술
- E-mail : micro@kimm.re.kr



김 인 영

- 한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부
- 프린팅공정자연모사연구실, 선임연구원
- 관심분야 : OPV, CIGS, Organic & Inorganic Material, Printed electronics, Inkjet
- E-mail : ikim@kimm.re.kr