

투명 태양전지 개발 동향



김홍식
인천대학교
광전에너지소자
연구실/전기공학과
선임연구원



말케시 파텔 쿠마
인천대학교
광전에너지소자
연구실/전기공학과
박사후 연구원



김준동
인천대학교
광전에너지소자
연구실/전기공학과
교수

요약

세계 태양광 시장은 실리콘 태양전지를 중심으로 기술경쟁에서 가격 경쟁의 시대로 변화되면서 중국의 저가화 공세에 의해 많은 기업들이 수익성 악화로 인해 도산하거나 위기에 처하게 되었다. 이러한 위기를 극복하기 위해 세계 각국에서는 다양한 타입의 태양전지를 개발하여 사업화를 시도하고 있다. 이러한 시도 중 하나가 투명 태양전지이다.

기존의 태양전지 패널을 설치하기 위해서는 추가적인 공간이 필요하고 건물 위에 설치했을 경우 채광과 외관이 좋지 않은 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 건물의 유리창을 태양전지로 활용하는 방안이 도입되고 있다. 만약 유리창을 대신하는 투명 태양전지가 상용화 된다면 추가적인 공간이 필요하지 않고 건물의 채광이나 외관을 해치지 않아 건물의 에너지 비용을 절감하고 활용도가 높아질 것이다. 본 논문에서는 투명 태양전지의 개발 동향 및 방향에 대하여 논하고자 한다.

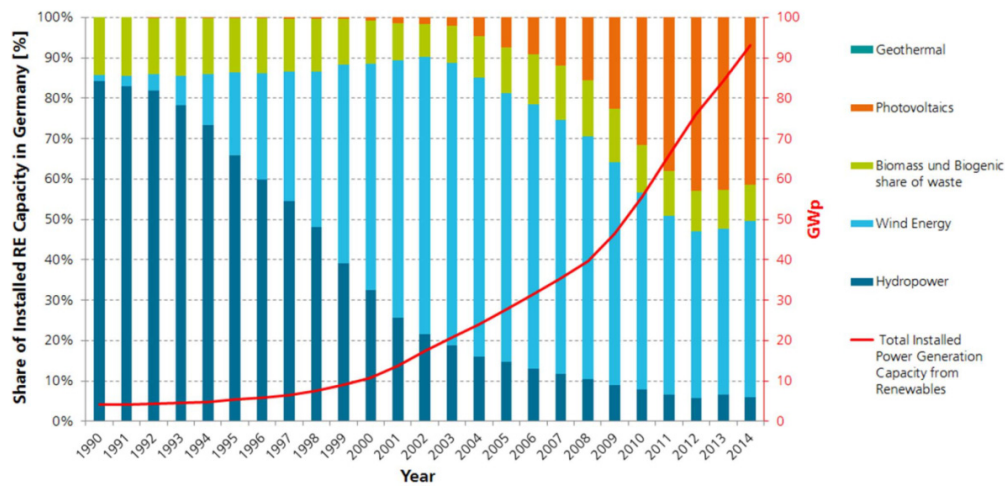
서론

2015년 12월 12일 파리 기후 협정을 계기로 신재생 에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 한국은 2030년까지 온실가스를 배출 전망치 대비 37% 줄이겠다는 자발적인 감축안을 유엔에 제출하였다. 박근혜 대통령의 이번 유엔기후협약 총회 기조연설에서도 “2030년까지 에너지 신사업을 100조원 규모로



출처: 네이버 기사 캡처

그림 1. 파리 협정 사진



출처 : 2016 Photovoltaics Report (Fraunhofer Institute for Solar Energy System)

그림 2. 독일의 신재생 에너지 점유율 변화

키우고 일자리 50만 개를 창출하겠다.”고 밝혔다. 파리 협정의 신 기후체제로 인해 관련 분야에서는 연간 1,800조 원 이상의 새로운 시장이 열릴 전망이다. 이 중 고려되고 있는 신재생에너지 종류로는 풍력, 수력, 파력, 지열, 태양광 등이 있지만 그 중에서도 태양광 분야가 가장 크게 관심을 받고 있다.

독일의 연구기관인 프라운호퍼 협회가 조사한 독일의 신재생에너지 점유율 변화를 보면 다양한 신재생에너지 중에서도 태양광이 차지하는 비율이 급격히 증가하는 것

을 볼 수 있다. 태양전지 셀의 저가화는 USD 0.6달러/W까지 급속하게 진행되어 전기요금이 비싼 유럽에서는 그리드패리티 시대가 시작되었기 때문이다. 이후 점차 확대되어 전세계가 그리드패리티 범위 안으로 들어 올 것으로 예상된다. 하지만 태양광 산업 규모가 증가하더라도 중국의 저가화 공세에 경쟁력을 갖추기 위해서는 기존의 실리콘에 기반한 태양전지 보다 차별화된 태양광 시스템을 개발하는 것이 중요하다.

최근 건물과 주택들을 보면 효율성 및 미적 측면을 고려

년도	2010년	2014년	2016년
세계 시장	2,330,000	5,500,000	11,000,000
한국 시장	150,000	350,000	800,000

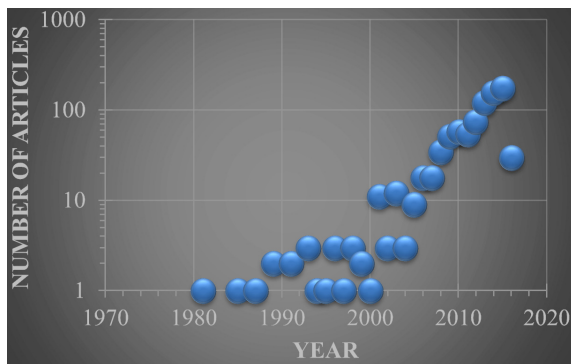
출처: “유리창 적용을 위한 비정질 실리콘 기반의 투명 태양전지,” ETRI 기술자료

그림 3. 건물집적형 태양전지 시장

하여 창호일체형 전면창을 사용한 것을 쉽게 볼 수 있다. 이러한 건물에 미관을 해치지 않으면서 에너지를 절감할 수 있는 건물집적형 태양전지(BIPV) 수요가 급증하고 있다. 건물집적형 태양전지(BIPV) 시장은 매년 평균 24%씩 증가하여 향후 폭발적으로 증가될 것으로 예상된다.

건물집적형 태양전지(BIPV) 중 최근에 가장 주목 받는 것은 투명 태양전지이다. 투명 태양전지는 태양광을 전기로 변환 시키는 효율은 4~5% 정도로 낮지만, 태양전지 소자가 태양복사를 차단함으로써 실내 온도 상승을 억제하고 아름답고 자유로운 건축 디자인을 가능하게 해주며 유해한 자외선을 차단한다. 투명 태양전지의 연구는 2000년을 기점으로 활발히 진행되어 점차 증가하는 추세를 나타내고 있다. 그림 4는 구글에서의 투명 태양전지 관련 기사의 연간 횟수를 표시한 그래프이다. 2000년을 기점으로 해마다 관련 기사들이 증가하는 것을 볼 수 있다.

투명 태양전지는 흡수 파장에 따라 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째로 자외선 파장에서 가시광선 파장 일부를 흡수하여 특정 색을 가지는 반투명 태양전지이다. 두 번째는



출처: Google Scholar에서 검색어 “Transparent Solar Cells” 검색 결과

그림 4. 투명 태양전지 관련 기사 연간 횟수

자외선 파장이나 적외선 파장만을 흡수하고 가시광선 파장을 모두 투과시키는 무색 투명 태양전지이다. 투명 태양전지의 연구는 반투명 태양전지에서 시작되어 무색 투명 태양전지까지 이어지고 있다. 본론에서는 투명 태양전지의 연구 현황 및 향후 전망에 대하여 기술하고자 한다.

본 론

투명 태양전지 역사

최초의 투명 태양전지는 1991년에 스위스의 그라첼 박사에 의해 개발되었다. 오늘날 염료감응태양전지로 알려진 것으로 빛에 반응하는 염료 분자와 티타늄 산화물을 이용하여 만들었다. 이후에 스위스의 로잔 공과대학은 투명 태양전지를 상용화하기 위해 솔라로닉이라는 벤처회사를 설립하고 2002년부터 연간 1만 평방미터의 투명 태양전지 양산을 시작했다.

우리나라에서는 2008년, 삼성SDI와 KAIST가 공동으로 건물 일체형 투명 태양전지를 개발하였다. 염료감응 태양전지 형태로 개발된 것으로서 여러 색을 선택할 수 있고 투명하기 때문에 건물 디자인에 맞는 색의 유리창으로 이용하면 미관도 향상시키고 전기까지 생산 할 수 있는 장점이 있다.

2011년에는 옥스퍼드 솔라에서 제작 비용을 크게 감소시킨 투명하고 다양한 색상의 투명태양전지를 개발하여 상용화에 한층 더 가까워졌다. 당시 옥스퍼드 솔라의 설립자이자 CEO인 케빈 아서는 기존의 유리를 설치하는 비용에 비해 태양전지 유리로 변경하는 것은 약 10% 이내의 적은 추가 비용으로 가능하다고 하였다.

무색 투명 태양전지를 개발한 연구도 활발히 진행되어 2012년에는 캘리포니아 대학에서 무색 투명 태양전지를 개발하여 ACS Nano논문에 발표하였다. 기존의 반투명 태양전지와는 달리 색상이 없고 좀더 유리과 같이 투명한 태양전지에 가까워졌다. 태양광 변환 효율이 약 4~5%이고 550nm 기준으로 약 66% 투과율을 나타내었다.

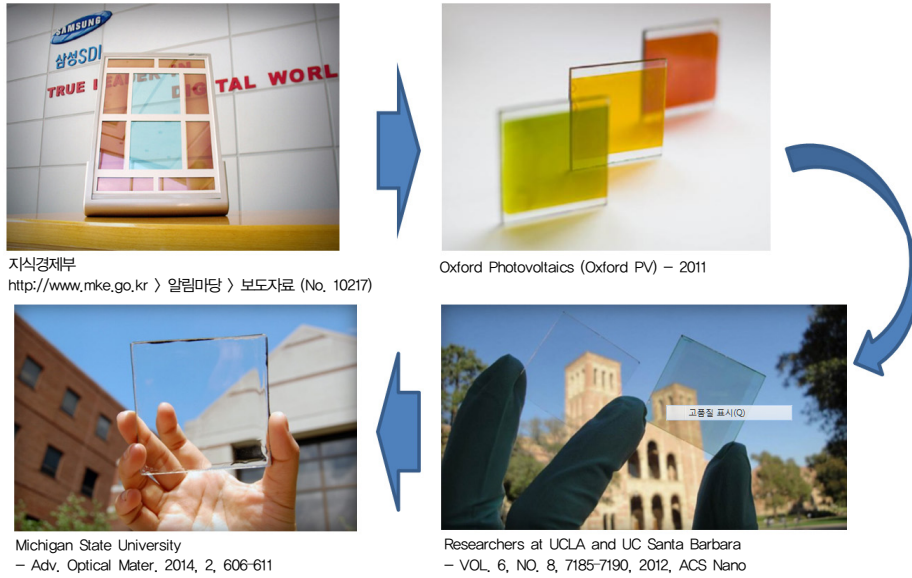
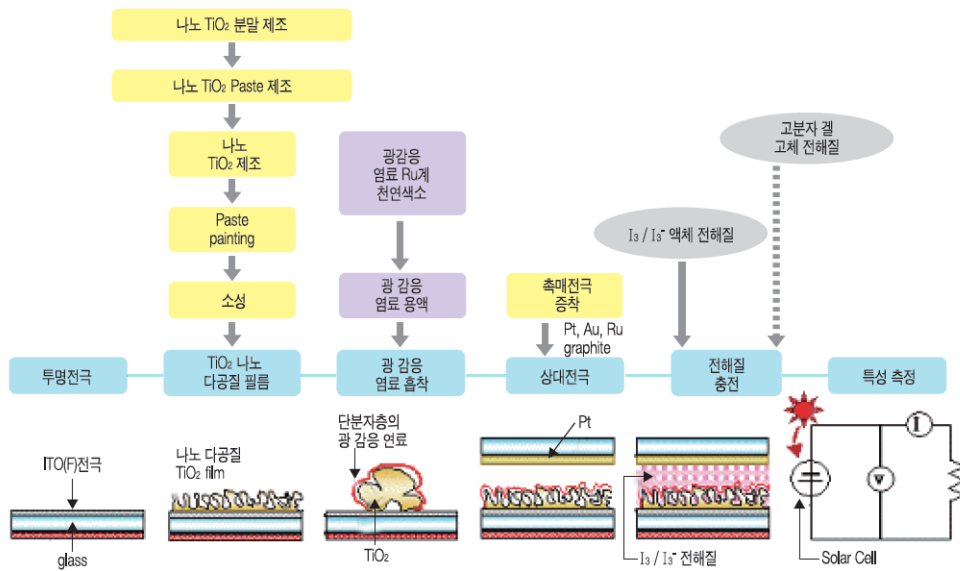


그림 5. 투명 태양전지의 연구 변화



출처: e-특허나라(<http://www.patentmap.or.kr>), '특허맵-DSSC'(2006)

그림 6. 염료감응 태양전지 제작 공정

유리와 유사한 수준의 무색 투명 태양전지는 2014년 미 시건 주립대학교에서 개발하였다. 연구 결과는 Advanced Optical Materials 논문에 게재되었다. 이전의 투명 태양 전지들이 자외선 혹은 가시광선 일부를 흡수하여 전기로 변환하는 것과는 달리 적외선을 흡수하여 전기로 전환시키는 방법을 사용하였다. 약 86%로 높은 투과율을 나타냈

지만 효율은 0.4% 내외로 상용화까지는 많은 시간이 걸릴 것이다.

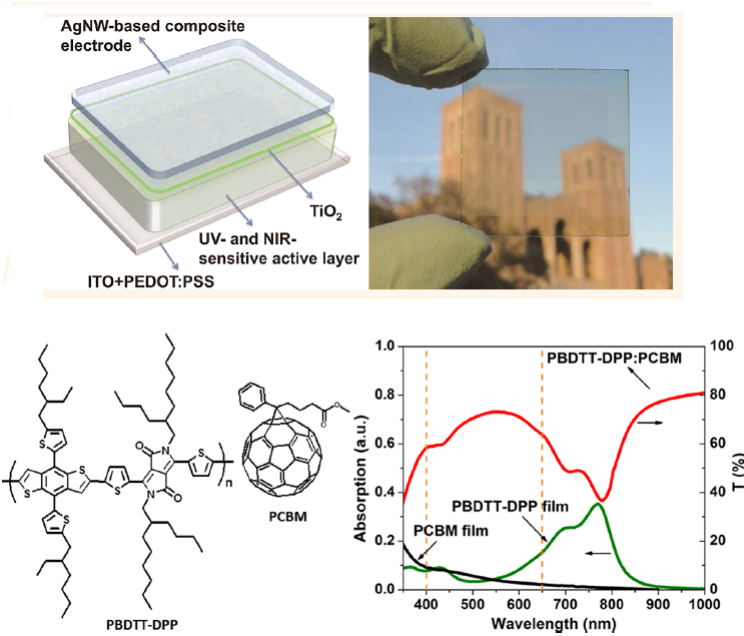
투명 태양전지 제조 기술

그림 6은 반투명 태양전지의 대표적인 염료감응태양전지에 대한 공정을 보여준다. 염료감응태양전지는 전극과

전극 사이에 빛을 흡수하는 광반응성 염료와 전해질 물질을 넣어 제작한다. 실리콘 기반 태양전지와 같이 p형과 n형 반도체의 접합을 사용하지 않고 전기화학적 원리에 의해 전기를 발생시킨다. 투명 태양전지 제작 방법은 염료감응태양전지 형태의 솔루션 공정에서 시작하여 점차 다양한 공정을 이용하여 연구 및 개발되고 있다.

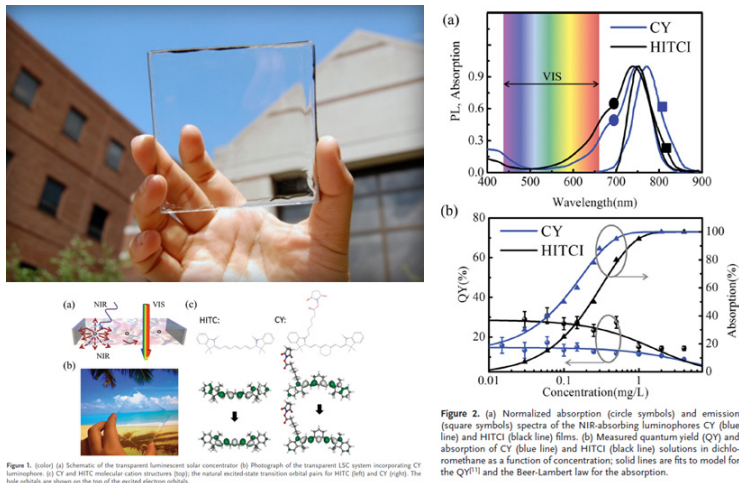
솔루션 공정을 이용한 투명 태양전지

2012년 캘리포니아 대학에서 개발한 투명 태양전지는 솔루션 공정을 이용하여 제작하였다. ITO+PEDOT:PSS 전극과 AgNW/TiO₂ 전극 사이에 자외선과 적외선을 흡수하는 광반응성 물질을 혼합하여 삽입하였다. 광반응성 물



출처: VOL. 6, NO. 8, 7185-7190, 2012, ACS Nano.

그림 7. 최초의 무색 투명 태양전지



출처: Adv. Optical Mater. 2014, 2, 606-611.

그림 8. 유리처럼 투명한 태양전지

질로 사용된 PBDTT-DPP는 650~850nm에서의 높은 흡수율을 가지고 PCBM은 400nm 이하에서 높은 흡수율을 나타낸다. 두 물질을 혼합하여 자외선 및 적외선에서의 광흡수를 시도하였다. 폴리머나 유기 필름 등은 두께가 매우 얇고 부드러워 손상을 주지 않기 위해 스프레이 기법을 이용하여 AgNW를 상부 전극으로 사용하였다. 이전의 연구들이 자외선 파장에서 가시광선 파장까지 활용하여 반투명 태양전지를 주로 연구되었으나 이 연구에서는 자외선과 적외선을 사용하는 새로운 방향을 제시해 주었다.

미시건 주립대학에서 2014년에 개발한 투명 태양전지는 유기염이라는 특수 재료를 사용하여 빛의 파장 중 적외선만을 흡수하는 투명 태양전지를 개발하였다. 사람의 눈으로 식별할 수 없을 정도로 투명하지만 기존 태양전지에 비해 상대적으로 효율이 낮은 단점이 있다. 현재 효율이 1% 이하로 많은 연구 및 개발이 필요하다.

스퍼터링 공정을 이용한 투명 태양전지

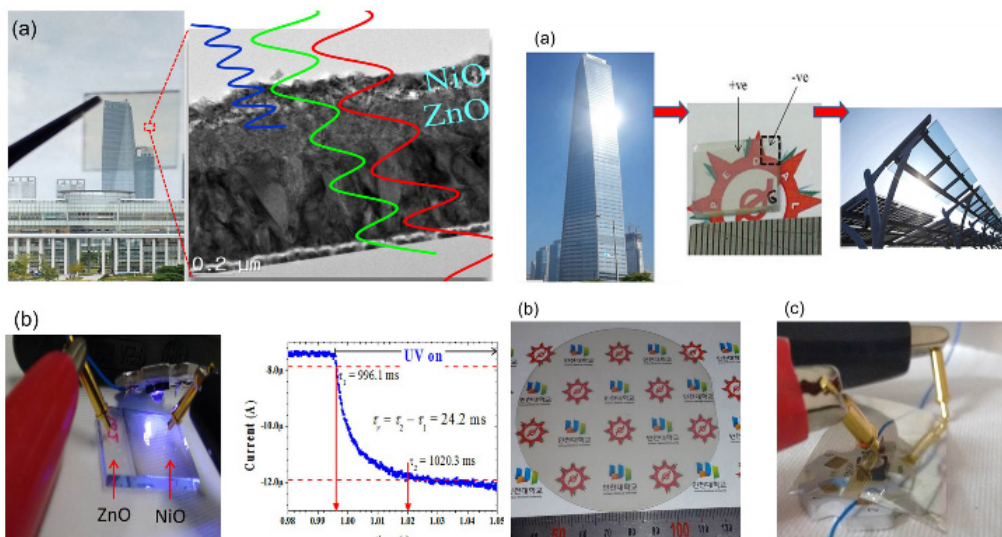
솔루션 공정의 재현성 문제와 신뢰성 문제 등을 개선하기 스퍼터링 공정을 이용한 투명 태양전지가 연구되고 있다. 기존의 실리콘 및 박막 태양전지 업체에서 사용되고

있는 스퍼터를 이용한 방법으로 상용화 시 신규 장비를 투자해야 하는 솔루션 공정에 비해 진입 장벽이 낮을 것으로 예상된다.

그림 9는 인천대 김 준동 교수 연구실에서 개발 중인, NiO와 ZnO 등 메탈 산화물을 이용한 투명 태양전지이다. NiO/ZnO 구조의 태양전지는 가시광선 영역에서 80% 이상의 투과율을 나타내고 원하지 않는 자외선을 차단하는 효과를 가져온다. NiO와 ZnO는 상온에서도 증착이 가능하기 때문에 투명한 플렉서블 태양전지 등 다양하게 응용될 수 있다. 현재까지의 NiO/ZnO 태양전지의 효율은 2% 이상으로, 기존의 결과보다 우수하다. 이 기술은 대면적에 적용될 수 있는 스퍼터링 기술을 기반으로 한 것으로 상용화 가능성이 높은 것으로 판단된다.

결론

2015년 12월 12일 파리 기후 협정 이후로 태양광 산업의 수요가 크게 급증 할 것으로 예상된다. 하지만 기존의 실리콘 기반의 태양광 산업에만 치중 한다면 중국의 저가 공세를 막기 어려울 것이다. 태양광 산업에서의 경쟁력을



출처: SPIE, "All-transparent photoelectric devices using metal oxides."

그림 9. 스퍼터링 시스템을 이용한 투명 태양전지



갖추기 위해서는 차별화 된 태양광 시스템에 대한 연구가 중요하다. 일상 속의 건물로 들어온 건물 집적형 태양전지 (BIPV)와 같이 단순히 가격이나 효율이 아닌 미관, 공간 활용성 등을 고려한 태양전지가 이후에 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 전망한다. 이러한 태양전지의 후보로 투명 태양전지는 매우 매력적이다. 기존의 유리창을 대체하여 태양전지로 바꿀 수 있고 미관을 고려하여 색상도 맞출 수 있어 차세대 태양전지의 하나로 각광을 받을 것으로 예상된다. 하지만 아직 연구 초기 단계에 머물러 있고 낮은 효율과 검증되지 않은 신뢰성 등 넘어야 할 산들이 많이 남아있다.

이제까지 투명 태양전지로는 염료감응형 태양전지에 대한 연구 개발이 오랫동안 이루어져 왔다. 염료감응형 태양전지가 공정이 단순하고 가격이 저렴하지만 화학적 안정성이 떨어지는 문제점이 있다. 신뢰성 및 대면적화 가능성을 고려할 때 메탈 산화물을 이용한 투명 태양전지가 상용화에 좀더 유리할 것으로 예상된다.

태양광 산업이 침체기를 벗어나 다시 도약이 시기가 오고 있다. 환경적인 측면과 한정된 화석 연료를 고려하면

태양광 산업이 미래의 주 에너지원이 될 것이 자명하다. 이에 투명 태양전지를 포함한 태양광 발전 산업에 대한 지속적인 관심과 연구 개발이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- [1] Vol. 4 Issue7 KISTI MARKET REPORT, “태양전지”
- [2] 15-09호(통권 606호) 2015.03.09, 현대경제연구원, “지금이 재생에너지 산업의 경쟁력을 높일 시점이다.”
- [3] Vol. 4 Issue 1 KISTI MARKET REPORT, “박막형 태양전지”.
- [4] 한국전자통신연구원, 임정욱, “유리창 적용을 위한 비정질 실리콘 기반의 투명 태양전지”.
- [5] VOL. 6, NO. 8, 7185-7190, 2012, ACS Nano.
- [6] Advanced Optical Materials, 2014, 2, 606-611.
- [7] 물리학과 첨단기술 July/August 2008, 박남규, “투명 컬러 염료감응 태양전지 기술”.
- [8] Freiburg, 11 March 2016, “PHOTOVOLTAICS REPORT”.
- [9] 윤종호, “건물일체형 태양광 발전 (BIPV) 기술 동향”.
- [10] Scientific Reports | 6:25461.
- [11] Advanced Electron Materials, 2015, 1500232.