

## 유기태양전지의 연구개발 동향



**이정훈**  
인하대  
섬유신소재공학과 석사과정



**김태완**  
홍익대  
기초과학과 교수



**설창**  
인하대  
섬유신소재공학과 교수

### 1. 서론

현재 지구상에서 소모되는 에너지의 비율 중 70% 이상이 화석연료이다. 그러나 이런 화석연료의 고갈과 환경문제가 대두되면서 미래의 에너지와 환경 문제를 극복할 수 있는 재생에너지원의 개발이 시급하다. 그 중 태양전지는 가장 주목받고 있는 대체에너지원이다.

더욱이 지구표면에 도달하는 연간 태양에너지의 총량은  $795,000 \times 10^{12} \text{kWh}$ 이다. 이는 전 세계가 연간 소비하는 총량( $82.83 \times 10^{12} \text{kWh}$ )에 비해 10,000배에 해당한다. 보다 현실적인 표현을 빌면 10%의 에너지 변환효율을 갖는 태양전지로 지구 전체의 0.1%만 채워도 인류가 사용하는 에너지를 전부 공급할 수 있어서, 에너지 전문가들은 향후 20년 내에 태양에너지의 사용량이 총에너지 사용량의 30%에 도달할 것으로 예상하고 있다[1].

태양전지의 역사[2]를 보면 1839년 프랑스의 물리학자 Edmond Becquerel이 처음으로 금속전극과 전해질로 구성된 셀이 빛에 노출될 경우 매우 적은 양의 전류가 발생된다는 광기전효과(photovoltaic effect)를 발견하면서 시작되었다. 이후 1873년 고체 셀렌(Se)의 광전도도 현상이 영국의 Willoughby Smith에 의해 보

고된 후, 1883년 미국의 Charles Fritts는 고체 셀렌을 이용하여 약 1~2%의 에너지 변환효율을 갖는 태양전지를 발명하였다. 실리콘 태양전지의 연구 개발은 1981년 폴란드 학자 Czochralski의 단결정 실리콘 성장법 개발 이후 활기를 띠기 시작하였다. 1954년 AT&T 벨 연구소의 Chapin, Fuller, Pearson에 의해 처음으로 결정성 실리콘 물질을 이용하여 4.5%의 에너지 변환효율을 갖는 실용 가능한 태양전지가 개발되면서 본격적인 고효율의 태양전지 개발의 서막이 되었다. 태양전지의 실용화는 호프만 전자(Hoffman Electronics)사에 의해 위성에 장착되면서 1960년에 14%까지 에너지 변환 효율을 올렸다. 이후 GaAs등의 III-V족 화합물 반도체를 사용하여 30% 전후의 변환 효율을 갖는 무기 태양전지가 개발되고 있다.

그러나 무기 태양전지(Inorganic solar cells)는 빛을 잡아주기 위해 많은 양의 lithographic 단계와 고온에서 제조해야하는 문제점과 원료가격의 한계 때문에 발전단가가 한계치에 도달하고 있다. 이에 비해 유기 태양전지(organic solar cells)는 상온에서 제작이 가능하므로 제조공정이 간편하고 가격이 저렴하며 쉬운 박막 형성방법과 대면적화가 가능하다. 또한 고분자 태양전지소자의 경우는 제조공정이 간단하며 휘어질 수 있는 소자 제작이 가능하다. 상용화에 있어서 가장



고려가 되는 제조가격 면에서 볼 때 유기태양전지의 개발이 필요하다. 그러나 유기 태양전지의 에너지 변환효율은 아직 3~4% 정도이다. 따라서 본고에서는 지금까지 유기 반도체를 사용한 태양전지의 원리 및 제조기술을 간단히 살펴보고 특성과 연구동향 등을 분석하여 앞으로 유기 태양전지의 나아가야할 방향을 찾아보고자 한다.

더불어 식물의 광합성원리를 응용한 태양전지로서, TiO<sub>2</sub> 반도체 나노입자, 태양광 흡수용 염료고분자, 전해질, 투명전극 등으로 구성된 염료감응형 태양전지에 대해 살펴보겠다. 이 전지가 기존의 태양전지와 다른 근본적인 차이점은, 기존의 태양전지에서 태양 에너지의 흡수과정과 전자-정공 쌍이 분리되어 전기의 흐름을 만드는 과정이 반도체 내에서 동시에 일어나는 것에 비해, 태양에너지의 흡수과정과 전하이동 과정이 분리되어 태양에너지 흡수는 염료가 담당하고, 전하의 이동은 전자의 형태로 반도체에서 담당한다는 것이다.

## 2. 유기태양전지의 원리

유기 태양전지의 원리는 전자-정공 쌍 형성 및 전이 과정에 의한 광기전 효과(photovoltaic effect)로서 무기 태양전지와 비슷하다. 우선, p-n접합 무기 태양전지의 경우 그림 1에서 보는 바와 같이 n-type과 p-type 두 형의 반도체를 접합한 것으로 접합부의 농도차에 의해 전자는 n-type 반도체로, 정공은 p-type 반도체로 이동함으로써 전자기장이 형성된다. 입사된 빛에너지가 band-gap 에너지보다 클 때, 가전자대에 있는 전자는 여기되어 전도대로 올라감으로써 전도대의 전자와 가전도대의 정공이 캐리어쌍을 형성한다. 그리고 캐리어쌍의 형성이 p-n 접합부에서의 캐리어 확산 거리 내에서 일어나면 내부 전기장에 의해 전하의 분리가 일어나서 전자는 n형 측으로 이동하고 정공은 p형 측으로 이동한다. 합선회로(short-circuit) 상에서는 전류를 발생하게 되며 개방회로(open-circuit) 상에서는 전기장이 형성되어 전압을 발생하게 된다.

유기 태양전지의 경우는, 우선 태양에너지를 흡수하여 광여기된 엑시톤(photoexcited exciton)은 해리영역(dissociation site)에 도착된다. 그림 2에서 보면 단

일층 구조의 해리영역은 음전극 근처이고 이중접합 구조에서의 해리영역은 Donor층과 Acceptor층 계면 사이에 있다는 것을 확인할 수 있다. 전하분리는 이런 해리영역에서, 엑시톤 결합에너지(exciton binding energy, E<sub>b</sub>)보다 큰 에너지를 받으면 엑시톤은 분리되어 각각 정공과 전자로 바뀐다.

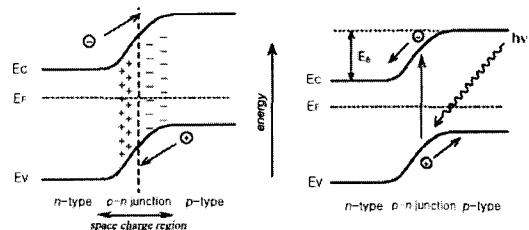


그림 1. p-n 접합부에서 생성된 공간전하영역

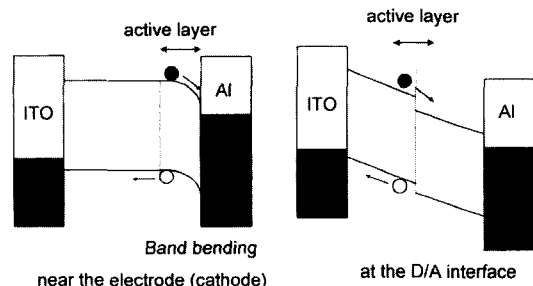


그림 2. 엑시톤 퍼짐(Exciton diffusion)

이러한 전하분리는 단일층 구조에서는 유기물과 층과 음전극 층 사이의 계면에서 일어나고 이중접합 구조에서는 서로 다른 전자친화성(Electron Affinity, EA)과 이온화퍼텐셜(Ionization Potential, IP)을 갖는 물질들 사이에서 일어난다. 그림 3에서와 같이 Donor물질과 Acceptor물질의 IP차와 EA차가 엑시톤 결합에너지보다 크면 엑시톤은 잘 분리될 수 있다. Donor물질의 IP가 충분히 작고, Acceptor물질의 EA가 충분히 크면 D/A 계면에서 전하가 분리되어 이동한다.

분리된 전하의 수집은 소자 구조에서 설명되어진다(그림3). 높은 일함수를 가진 투명전극인 ITO를 양극으로, 낮은 일함수를 가진 Al 이나 Ca 등을 음극으

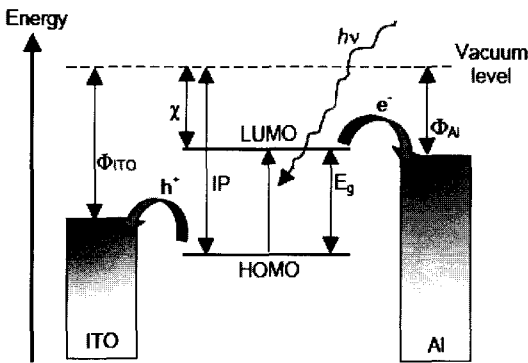
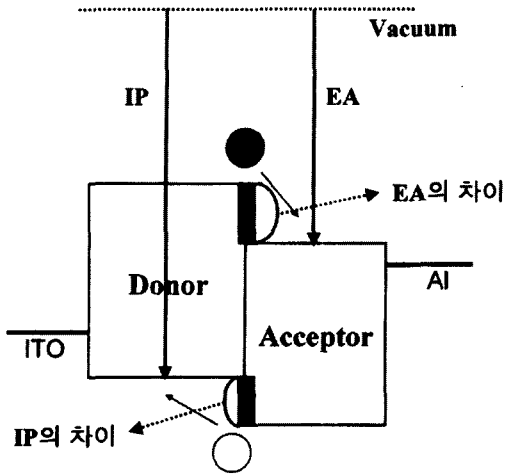


그림 3. 전하분리(위)와 에너지 띠 그림(아래)

일어나므로 고분자 내의 어떠한 재결합 과정보다 빠르므로 매우 효율적이다[5].

또한 유기 태양전지에서 내부 전기장 형성에 대한 원인은 비대칭적인 일함수 차이에 의한 것이라고 설명되고 있으나, 최근의 LIOS 그룹의 연구결과(그림5)는 반도체 고분자의 HOMO 준위와 전자받게의 LUMO의 차이가 이 값을 결정한다고 보고하고 있다[6].

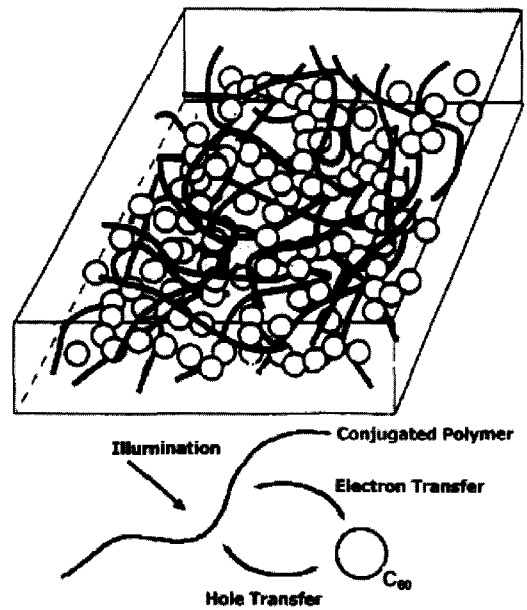


그림 4. 광여기 전하이동 현상

로 사용하면 내부 전기장이 형성되고 그 전기장에 의해 음극과 양극으로 전자와 정공이 이동하게 되는 것이다. 이것이 광기전력 효과를 일으키는 과정이 된다 [3]. 또한 1995년 UCSB그룹의 G. Yu 박사에 의해 처음 발표된 반도체 고분자/풀러린 복합체를 이용한 고분자 태양전지(그림 4)에서는 전자-정공 쌍의 분리에 있어 매우 흥미있는 과정으로 광여기 전하이동 현상(photoinduced charge transfer)을 보고하였다[4]. 이것은 반도체 고분자에 에너지 밴드갭 이상의 에너지를 가진 빛을 쬐어 주었을 때 고분자(전자주게)에서 여기된 전자가 풀러린(전자받게)으로 이동하는 현상이다. 풀러린은 매우 높은 전자 친화도를 갖고 있기 때문에 전자가 이동하는 시간은 50fs ( $\sim 10^{-14}$ s) 이내

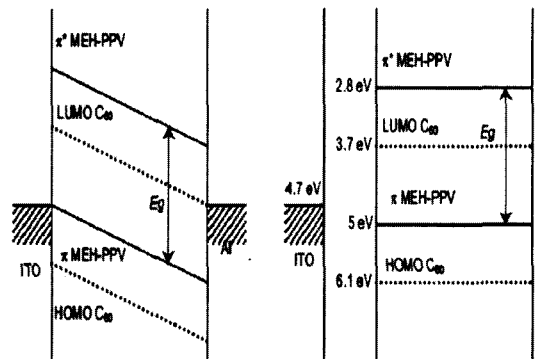


그림 5. 에너지 준위 다이어그램



그리고 반도체 접합 태양전지와는 달리 광합성원리를 이용한 고효율의 광전기화학적 태양전지인 염료감응형 태양전지의 원리[7]는 그림 6에서 보여주고 있다. 투명유리 위에 코팅된 투명전극에 접착되어 있는 나노입자로 구성된 다공질  $TiO_2$  입자 위에 단분자층으로 코팅된 염료고분자, 그리고 두 전극 사이에 있는 50~100 $\mu m$  두께의 공간을 채우고 있는 산화-환원용 전해질 용액이 들어있는 형태를 지니고 있다. 전극은 양쪽을 모두 투명전극을 사용하기도 하지만, 일반적으로 에너지효율을 높이기 위하여 태양광이 입사하는 반대쪽 전극은 반사도가 좋은 백금을 사용하고 있다.

태양광이 전지에 입사되면 광양자는 먼저 염료고분자에 의해 흡수된다. 염료는 태양광 흡수에 의해 여기상태로 되고 전자를  $TiO_2$ 의 전도대로 보낸다. 전자는 전극으로 이동하여 외부회로로 흘러가서 전기에너지를 전달하고, 에너지를 전달한 만큼 낮은 에너지상태가 되어 상대 전극으로 이동한다. 염료는  $TiO_2$ 에 전달한 전자수만큼 전해질 용액으로부터 공급받아 원래의 상태로 돌아가게 되는데, 이 때 사용되는 전해질은 iodide/triiodide 쌍으로써 산화-환원에 의해 상대전극으로부터 전자를 받아 염료에 전달하는 역할을 담당한다. 이에 따라 광 조사 하에서 발생한 전압은  $TiO_2$  반도체의 페르미에너지 준위와 전해질의 산화-환원 준위의 차이에 의해 결정된다. 전체적으로 볼 때 영구적으로 화학적 변환 없이 빛으로부터 전기를 생산하는 장치이다.

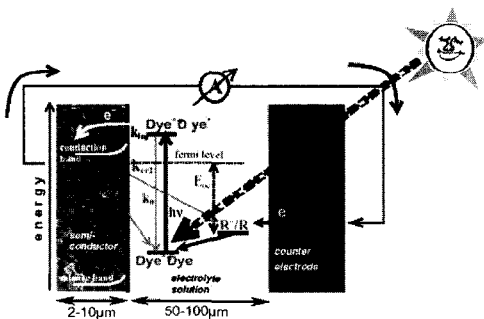


그림 6. 염료감응형 태양전지의 원리 모식도

태양전지의 특성을 정량적으로 평가하는 변수들이 그림 7에 나타나있고, 그에 대한 설명은 다음과 같다.

open-circuit voltage( $V_{oc}$ )는 회로가 개방된 상태, 즉 무한대의 임피던스가 걸린 상태에서 빛을 받았을 때 태양전지의 양단에 형성되는 전위차이다. 동종접합(homojunction)의 경우를 예로서 설명하자면, 얻을 수 있는 최대한의  $V_{oc}$ 값은 p-type 반도체와 n-type 반도체 사이의 work function의 차이로 주어지며, 이 값은 반도체의 band gap에 의해 결정되므로 band gap이 큰 재료를 사용하면 대체로 높은  $V_{oc}$ 값이 얻어진다.

Short-circuit current( $J_{sc}$ )는 회로가 단락된 상태, 즉 외부저항이 없는 상태에서 빛을 받았을 때 나타나는 역방향(음의 값)의 전류밀도이다. 이 값은 우선적으로 입사광의 세기와 파장분포(spectral distribution)에 따라 달라지지만, 이러한 조건이 결정된 상태에서는 광흡수에 의해 여기된 전자와 정공이 재결합(recombination)하여 손실되지 않고 얼마나 효과적으로 전지 내부에서 외부 회로쪽으로 보내어지는가에 의존한다.

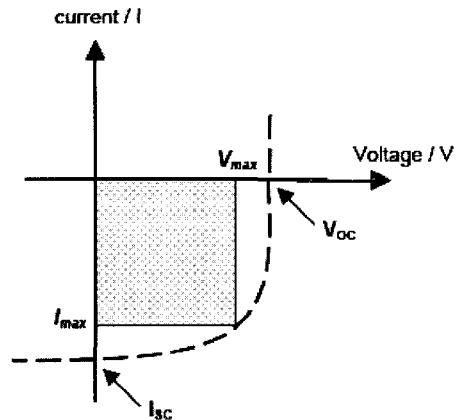


그림 7. 태양전지의 전류-전압 곡선

이 때 재결합에 의한 손실은 재료의 내부에서나 계면에서 일어날 수 있다. 또한  $J_{sc}$ 를 크게 하기 위해선 태양전지 표면에서의 태양 빛의 반사를 최대한으로 감소 시켜야 한다. 이를 위해 Antireflection coating을 해주거나 metal contact을 만들 때 태양 빛을 가리는 면적을 최소화 해주어야 한다. 가능한 모든 파장의 빛을 흡수하기 위해선 반도체의 밴드갭 에너지가 작을수록 유리하지만 그렇게 되면  $V_{oc}$ 도 감소하게 되므로

적정한 밴드갭을 가진 재료가 필요하다. 따라서 최대 크기의 Voc와 Jsc값을 얻기 위해 계산된 이론적인 최적의 밴드갭 에너지는 1.4eV가 된다.

Fill Factor(FF)는 최대 전력점에서의 전류밀도와 전압값의 곱(Vmax × Jmax)을 Voc와 Jsc의 곱으로 나눈 값이다. 따라서 Fill Factor는 빛이 가해진 상태에서 J-V 곡선의 모양이 사각형에 얼마나 가까운가를 나타내는 지표이다.

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

$$\eta = \frac{\text{Electrical power}}{\text{Light power}} = \frac{P_m}{P_{input}} \times 100(\%)$$

$$= \frac{I_m V_m}{P_{input}} \times 100(\%) = \frac{I_{sc} V_{oc} FF}{P_{input}} \times 100(\%)$$

또한 태양전지의 효율 η는 전지에 의해 생산된 최대 전력과 입사광 에너지 P<sub>in</sub>사이의 비율이다. 따라서 효율을 증대 시키려면, Jsc, Voc 그리고 FF가 큰 소자를 제작해야 된다.

### 3. 유기 태양전지의 역사적 배경 및 현재 개발 현황

태양전지는 1839년에 Becquerel이 처음으로 금속 전극과 전해질로 구성된 셀이 빛에 노출될 경우 매우 적은 양의 전류가 발생된다는 광기전효과를 발견하면서 시작되었다. 이후 무기 태양전지는 꾸준히 발전하였다. 반면, 유기 태양전지의 시작은 1906년에 Pochettino가 유기 화합물인 안트라센에서 광전도성을 발견하면서 시작되었다[8].

1960년 대에는 염료에 의해 광전현상이 발생한다는 1887년에 비엔나대학의 Moser박사에 의한 실험을 바탕으로 염료용액 속에 담긴 단결정 반도체를 이용하였다. 이 연구를 통하여 전극표면에 흡착된 분자들이 단분자층을 이루고 있을 때 효율이 좋고 분자층이 두꺼워질수록 전자의 이동이 차단되어 빛에너지의 흡수가 원활하지 않다는 것이 밝혀졌다. 그러나 이러한 방식은 효율 0.5%에 불과하였다[9].

이 후, 1977년에 MacDiarmid, Heeger, Shirakawa는 polyacetylene에 도핑을 시킴으로써 전기 전도도

를 급격히 증가시킨 전도성 고분자를 발견하였다. 이로써 이들은 2000년에 노벨 화학상을 수상하였고 이것은 유기반도체의 서막을 여는 것이었다[10]. 1986년에는 코닥사의 Tang박사가 copper Pc와 perylene 유도체의 이중층(bi-layer) 구조의 유기 태양전지를 만들어 1%의 효율을 냈다[11]. 또한 전도성 고분자와는 달리 도핑을 시키지 않은 반도체 고분자는 1990년 영국 Cambridge 대학의 Friend 교수팀에서 poly(p-phenylenevinylene) (PPV)을 이용하여 고분자 발광소자(PLED)를 제작한 후 많은 관심을 받게 되었다[12]. PLED의 성공으로 인하여 반도체 고분자를 이용하여 다른 전자소자 분야로의 응용이 시작되었는데 고분자 태양전지도 그 중의 하나였다.

또한 1991년 일본의 오사카대학의 Hiramoto박사는 Tang에 의해 제안된 이중층 구조에 염료/염료가 분산된 층을 중간에 삽입하여 삼중층 구조(그림 8)의 유기 태양전지를 고안하여 photocurrent가 두배 증가함을 확인하였다[13].

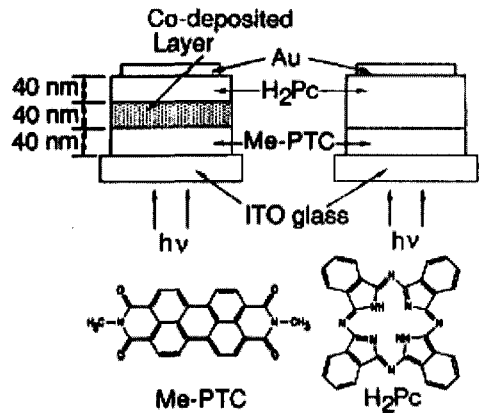


그림 8. 염료/염료 층을 삽입한 삼중층구조

그러나 아직까지 고분자를 이용한 유기태양전지의 효율은 1%를 넘지 못했다. 그래서 고분자를 이용한 태양전지는 그 연구가 부진한 듯 하다가, 1993년에 산타바바라의 캘리포니아 대학의 N. S. Sariciftci 박사가 PPV유도체에 풀러린(C<sub>60</sub>)층을 삽입해 이중접합구조(heterojunction)의 태양전지를 만들었고 여기서 고효율의 광여기 전자 이동 현상을 발견하고 이를 응용한



태양전지가 아주 효과적인 고분자 태양전지의 재료로써 사용이 가능함을 확인하였다[14]. 그 후, 1995년 UCSB의 Heeger 교수팀의 G. Yu 박사가 고분자와 가용성 풀러린을 이용한 블렌드 형태의 고분자 태양전지(그림 4)를 만들었다. 이것은 풀러린이 고분자 내에 고르게 분산되어 그물망을 형성하여 전자주계와 받게 사이에 접촉면적을 늘여 광여기 전하 이동이 많이 일어날 수 있는 구조이다. 그 결과 480nm (20mW/cm<sup>2</sup>)의 단색 여기광 하에서 2.9%의 에너지 전환 효율을 보였고 이것으로써 고분자 태양전지의 비약적인 발전을 이루었다[4].

1998년에는 이중접합구조의 태양전지를 더욱 발전시켜 영국 Cambridge 대학의 Friend 교수팀은 PPV의 유도체인 MEH-CN-PPV를 전자받게 물질로 polythiophene (PT) 유도체인 POPT를 전자주계 물질로 하여 480nm (34 μW/cm<sup>2</sup>)의 여기광 하에서 4.8%의 에너지 전환 효율을 보였다[15].

그 후 다양한 전자주계와 전자받게들이 합성되어 이를 이용한 고분자 태양전지가 개발되었다. 오스트리아의 LIOS (Linz Institute of Organic Solar Cell) 그룹에서는 polyester 기판을 이용하여 소자 전체가 휘어질 수 있는 구조의 대면적 고분자 태양전지를 제작하였는데 MDMO-PPV와 PCBM을 고분자 층으로 사용하여 A.M. 1.5 조건 하에서 2.5%의 효율을 갖는 태양전지를 발표하였다[16]. 더욱이 고분자 박막의 표면을 개선하기 위하여 poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate) (PEDOT:PSS)와 고분자 층과 음극 사이에 LiF 층을 삽입하여 효율을 향상시키는 연구를 진행하여 3.3%의 에너지 변환 효율을 보고했다[17]. LiF층[18]과 PEDOT:PSS층[19]의 삽입은 고분자와 금속사이에 버퍼층으로 작용하여 접촉 저항을 줄여줌으로써 효율의 증가를 가져온다고 알려져 있다(그림 9).

또한 미국 애리조나 대학의 S. E. Shaheen은 MDMO-PPV와 PCBM 복합체에 screen print 방식을 이용하여 488nm (27mW/cm<sup>2</sup>)의 단색광 하에서 4.3%의 효율을 얻었다. 이러한 높은 효율은 screen print 방법을 통해서 얻은 두께가 수십 nm에 이르면서도 표면 거칠기가 2.6nm에 불과한 매우 우수한 모폴로지를 갖는 고분자 블렌드 박막을 형성한 결과였다[20].

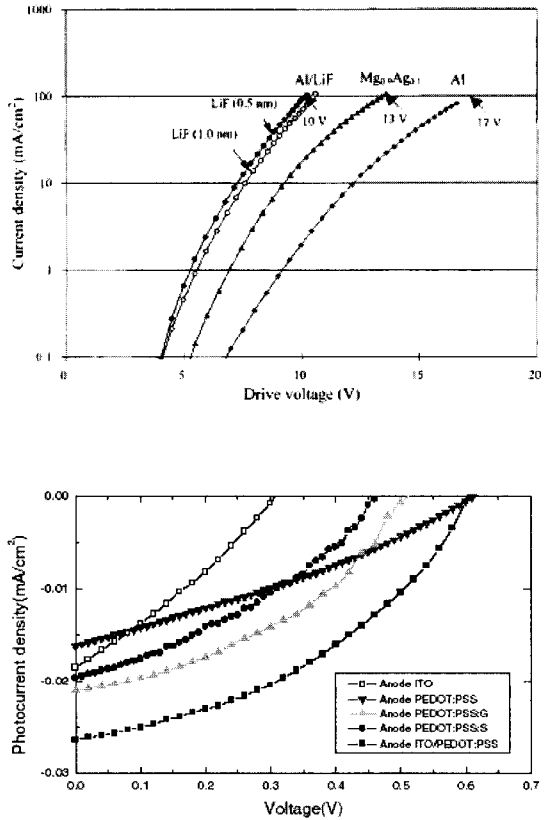


그림 9. LiF층(위)과 PEDOT:PSS층 삽입에 따른 영향

최근 미국 프린스턴 대학의 Forrest 교수팀은 ITO/CuPc/C<sub>60</sub>/BCP/Al 소자 구조로 A.M. 1.5 조건 하에서 4.2%의 에너지 변환 효율을 보였다. 이것은 ITO에 UV-ozone 처리를 해 줌으로써 ITO의 일함수가 증가하고 이로써 소자의 직렬저항을 줄여주었기 때문이다[21].

또한 다양한 방향에서의 유기 태양전지 개발이 이루어졌는데, 그 대표적인 예가 최근에 버클리 대학의 Alivisato 교수팀에서 이루어졌다. 이들은 polythiophene(PT) 유도체인 P3HT와 CdSe 나노 입자 및 나노 막대의 복합체를 이용한 태양전지를 제작하여 A.M.1.5조건에서 1.7%의 효율을 보였다[22]. 이것은 유기-무기 하이브리드 개념을 이용하는 영역까지 넓혀지고 있다고 볼 수 있다.

또한 반도체 접합 태양전지와는 달리 광합성 원리

를 이용한 고효율의 염료감은 광전기화학 태양전지의 역사 및 개발 현황을 살펴보면 위에서 언급한 비엔나 대학의 Moser박사의 연구 이후, 효율의 큰 상승은 1979년 Tshubomura 연구팀이 Nature지에 기고한 '높은 기공도를 지닌 다결정 ZnO 분말' 을 사용한 연구에 의해 이루어졌다. 이러한 방법으로 전극의 표면적을 크게 증가시킬 수 있었고, 이에 따라 효율은 1.5% 까지 증가하였다. 또한 이들은  $\Gamma/\Gamma^{\ominus}$  산화-환원 전달 시스템이 효율을 높이는데 크게 유리하다는 것을 발견하였다[23].

현재 주로 연구되어지고 있는 고효율 염료감용형 태양전지의 개발은 1980년부터 스위스 로잔에 있는 Ecole Polytechnique Federale의 Gratzel 교수의 연구팀에 의해 이루어졌다. 그들은 저가의 나노기공  $\text{TiO}_2$  반도체를 도전성 유리 위에 접착시키고, Ru계 염료 및  $\Gamma/\Gamma^{\ominus}$  전해질을 사용함으로써 1993년 효율 10%대의 최고 효율을 지닌 전지를 개발하였다[24].

#### 4. 유기 태양전지의 나아가야 할 방향

지난 몇 년 동안 유기 태양전지의 유기 재료와 소자 구조 및 장치는 괄목할 만한 발전을 이루었다. 에너지 변환 효율면에서도 15년 전에 1%에 비하면 지금의 3~4%는 굉장히 빠른 발전 속도이며, 과거 무기 태양전지의 10년간 발전 속도와는 비교할 수 없을 정도로 빠르게 발전하였다. 따라서 유기 태양전지의 미래는 매우 희망적이라 할 수 있다. 하지만, 아직 효율은 상용화될 정도로 높지 않기 때문에 다양한 방향에서 효율 개선을 위한 접근이 필요하다. 예를 들어 전자와 정공의 이동 속도를 증가시키고, 소자 박막의 모폴로지를 향상시켜주어야 하며, 태양광 스펙트럼과 일치하는 에너지 밴드갭을 가진 유기 재료의 설계 등이 필요하다.

또한, 보통의 유기물은 낮은 전하 이동도를 갖는다. 보통  $10^{-7} \sim 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 의 홀이동도와 이보다 작은 전자이동도를 갖는다. 또한 impurities와 defects에 의해 전하가 trapping되는 현상이 생긴다. 이부분에 대한 좀 더 세심한 연구가 필요하고 전하 이동도가 높은 유기물의 설계와 더불어 폴리머와 같은 전하의 이동 속도를 증가시켜 주는 물질의 개발이 필요할 것이다.

또한 FF를 증가시키기 위해 소자의 박막 모폴로지를 개선하고 유기물 층과 전극 사이의 에너지 문턱을 낮추어 전자나 정공이 잘 빠져나가도록 해야 된다. 이러한 노력의 일환으로 LiF나 PEDOT:PSS등의 버퍼층의 삽입 등이 연구되었고, 또한 spin-coating 시 좋은 용매의 선택도 모폴로지에 많은 영향을 준다고 보고되어 있다.

그리고 이러한 변수 외에 근본적으로 태양광을 보다 많이 흡수하기 위해 태양광 스펙트럼과 잘 일치하는 에너지 밴드 갭을 가진 유기물의 설계가 필요하다. 또한 모든 파장을 흡수하는 black 염료를 개발하고 이 용할 수 있을 것이다.

마지막으로 유기 태양전지의 단점으로 온도에 의존하여 변하는 전하이동도와 안정성을 들 수 있는데, 이러한 점들의 극복은 봉지기술의 발전과 보다 안정성 있는 물질의 이용과 개발이다.

#### 5. 결론

현재 유기 태양전지는 효율면에서 볼 때 무기 태양전지에 비해 많이 떨어져 있다. 하지만 유기물은 가공성, 유연성, 대면적의 용이함을 가지고 있으며, 상용화에 있어서 가장 중요한 저가의 태양전지를 만들 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 과거 10년 간의 발전 속도와 현재까지 축적된 기술과 역량으로 볼 때, 이를 상용화하는데는 많은 시간이 걸리지 않으리라고 생각된다.

더욱이 우리나라의 경우, 태양에너지로부터 단위 면적 당 생성할 수 있는 전력량은  $4 \sim 4.5 \text{ kWh/cm}^2$ 로 바로 이웃 나라인 일본( $3.5 \sim 4 \text{ kWh/cm}^2$ )과 유럽의 대부분 국가들보다 높다. 하지만 일본, 유럽, 미국 등은 정부 주도하에 태양전지 개발 프로그램을 활발히 진행하고 있다. 이것은 유가인상, 화석연료의 고갈, 지구 온난화 방지 그리고 우주개발에 태양전지가 미래의 가장 확실한 에너지원임에 의심할 여지가 없기 때문이다. 우리나라는 태양에너지로부터 전기에너지를 얻을 수 있는 좋은 조건을 가지고 있기 때문에 태양전지 시장의 훌륭한 후보 지역이 될 수 있다. 따라서 국내 태양전지 관련 전문인력 양성과 세계기술과의 경쟁력을 가지기 위한 기술력 제고를 위해 정부와 기업



의 지속적인 관심과 연구개발의 과감한 투자가 절실히 요구된다. 더불어 유기 태양전지의 상용화도 머지않았다고 생각되며 그것을 반영하는 새로운 결과들이 계속 나타날 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] G. Smestad: Nanocrystalline Solar Cell Kit, Recreating Photosynthesis, Published by Institute for Chemical Education in the University of Wisconsin, p. 17, 1998.
- [2] <http://www.eren.doe.gov/pv/history.html>
- [3] C. J. Brabec, N. S. Sariciftci, and J. C. Hummelen, *Adv. Funct. Mater.*, Vol. 11, p. 15, 2001.
- [4] G. Yu, J. Gao, J. C. Hummelen, F. Wudl, and A. J. Heeger, *Science*, Vol. 270, p. 1789, 1995.
- [5] C. J. Brabec, G. Zerza, G. Cerullo, S. P. Silvetri, J. C. Hummelen, and N. S. Sariciftci, *Chem. Phys. Lett.*, Vol. 340, p. 232, 2001.
- [6] C. J. Brabec, A. Cravino, D. Meissner, N. S. Sariciftci, T. Fromherz, M. T. Rispens, L. Sanchez, and J. C. Hummelen, *Adv. Funct. Mater.*, Vol. 11, p. 374, 2001.
- [7] Y. V. Pleskov, *Solar Energy Conversion. A photoelectrochemical Approach*, Springer Verlag, Berlin heidelberg, 1990.
- [8] A. Pochettino, *Acad. Lincei Rend.*, Vol. 15, p. 355, 1906.
- [9] J. S. Connolly, *Notiz uber Verstarkung photo elektrischer Strome durch potische Sensibilisierung*, Academic press, 1981.
- [10] C. K. Chaing, C. R. Fincher, Y. W. Park, A. J. Heeger, H. Shirakawa, and E. J. Louis, *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 39, p. 539, 1997.
- [11] C. W. Tang, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 48, p. 183, 1986.
- [12] J. H. Burroughes, D. D. C. Bradly, A. R. Brown, R. N. Marks, R. H. Friend, P. L. Burns, and A. B. Holmes, *Nature*, Vol. 335, p. 539, 1990.
- [13] M. Hiramoto, H. Fukusumi, and M. Yokoyama, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 58, p. 1062, 1991.
- [14] N. S. Sariciftci, D. Branun, C. Zhang, V. I. Srdanov, A. J. Heeger, G. Stucky, and F. Wudl, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 62, p. 585, 1993.
- [15] M. Granstroöm, K. Radspinner, A. C. Arias, A. Lux, M. R. Andersson, and R. H. Friend, *Nature*, Vol. 395, p. 257, 1998.
- [16] S. E. Shaheen, C. J. Brabec, N. S. Sariciftci, F. Padinger, T. Fromherz, and J. C. Hummelen, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 78, p. 841, 2001.
- [17] C. J. Brabec, S. E. Shaheen, C. Winder, N. S. Sariciftci, and P. Denk, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 80, p. 1288, 2002.
- [18] L. S. Hung, C. W. Tang, and M. G. Mason, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 70, p. 152, 1997.
- [19] F. Zhang, M. Johansson, M. R. Andersson, J. C. Hummelen, and O. Inganäs, *Adv. Mater.*, Vol. 14, p. 662, 2002.
- [20] S. E. Shaheen, R. Radspinner, N. Peyghambarian, and G. E. Jabbour, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 79, p. 2996, 2001.
- [21] J. Xue, S. Uchida, B. P. Rand, and S. R. Forrest, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 84, p. 3013, 2004.
- [22] W. U. Huynh, J. J. Dittner, and A. P. Alivisatos, *Science*, Vol. 295, p. 2425, 2002.
- [23] H. Tsubomura, M. Matsumura, Y. Nomura, and T. Amamiya, *Nature*, Vol. 261, p. 402, 1976.
- [24] M. K. Nazeeruddin, A. Kay, I. Rodicio, R. Humphry, E. Muller, P. Liska, N. Vlachopoulos, and M. Gratzel, *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 115, p. 6382, 1993.



· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성명 : 이정훈

◆ 학력

- 2003년 인하대 섬유공학과 학사
- 2003년 - 현재 인하대 섬유공학과 대학원 석사과정

성명 : 김태완

◆ 학력

- 1981년 연세대 물리학과 이학사
- 1983년 연세대 대학원 물리학과 이학석사
- 1990년 Univ. of Calif., Los Angels. 이학박사

◆ 경력

- 1991년 - 현재 홍익대 기초과학과 교수
- 2003년 - 현재 한국전기전자재료학회 편집위원장

성명 : 설 창

◆ 학력

- 1976년 서울대 섬유공학과 공학사
- 1978년 서울대 대학원 섬유공학과 공학석사
- 1984년 서울대 대학원 섬유공학과 공학박사

◆ 경력

- 1983년 - 1984년 동경대 유기재료공학과 문부성 장학생
- 1985년 - 1993년 전북대 섬유공학과 조교수, 부교수
- 1989년 - 1990년 Univ. of Pittsburgh, Dept. of Materials Sci & Eng., Research Associate
- 1993년 - 현재 인하대 공과대학 섬유공학과 부교수, 교수

