

태양광발전 시스템의 특성 및 전력전자기술 적용에 대한 연구

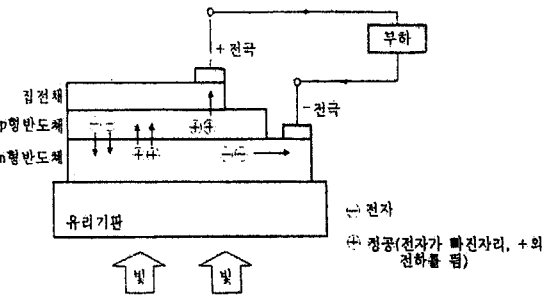
한진욱 <한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 4학년>
 현동석<한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수님>

Analysis of photovoltaic systems and applications of electrical method

HAN JIN WOOK
 HYUN DONG SUK

Abstract- 화석연료의 대체 에너지원 발굴 전 세계적으로 환경에 관한 경각심이 고조 그리고 개발도상국에서의 인구 증가에 따른 에너지 수요의 증대는 장기적으로 환경친화적이고 에너지원이 무한정한 태양광발전이 관심을 불러일으키고 있다. 최근 5년간 전 세계 태양광 생산은 매년 평균 40%씩 증가하였고 여기에는 태양전지 재료 및 공정기술의 발전과 함께 각국의 시장 활성화 정책이 큰 기여를 하였다. 이러한 추세에 따라 태양전지 효율 향상을 위한 새로운 개념의 도입 및 개발은 물론 태양전지 재료의 사용과 소비에 대한 새로운 기술개발과 태양전지의 설계 및 생산기술에 혁신적인 발전이 요구되고 있다. 현재 결정질 실리콘을 주 소재로 한 태양전지 생산은 매년 40%씩 증가하고 있고, 그 성장속도는 지속적으로 빨라지고 있다. 에너지 산업에서 새로운 에너지원이 시장을 장악하는 큰 변화가 있을 때 소요되는 기간을 감안할 때 태양광발전이 기존에너지 시장의 상당부분을 대체하기까지는 앞으로도 20-30년 지속적으로, 나아가서는 보다 공격적인 성장속도가 필요할 것이다. 이러한 성장속도는 새로운 기술의 도입이 지속적으로 이루어질 때 달성이 가능하고 또한, 새로운 기술의 도입은 튼튼한 기초 연구가 그 바탕을 이루고 있을 때 가능할 것이다.

또한 양극 쪽으로 움직인다면 전류가 발생하여 우수한 태양전지가 얻어진다.



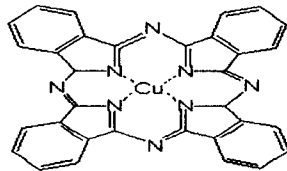
1. 서 론

태양전지 (solar cell)는 태양에너지를 전기에너지로 변환시켜주는 반도체 소자로서 깨끗한 환경 친화적 에너지 기술이다. 현재 대부분의 태양전지는 실리콘, 화합물반도체 등을 이용하는 소자인데 광-전기 변환효율은 높으나 가격이 비싸기 때문에 다른 에너지와 경쟁을 하기 어렵다. 따라서 낮은 가격으로 대용량의 태양전지를 만들 수 있는 플라스틱 또는 유기물 태양전지에 대한 연구가 최근에 활발하게 전개되고 있다. 그러나 고분자 또는 유기 박막 태양전지의 효율이 아직은 최대 2-3%정도에 불과하기 때문에 많은 연구가 필요한 실정이다. 본 논문에서는 유기물 반도체중 저분자물질인 Copper Phthalocyanine (CuPc)를 이용한 태양전지를 제작하였다. 태양전지의 구조는 금속과의 쇼트키형 접합을 사용한 Schottky 구조(Al/CuPc/ITO)로 하였다. 그리고, 제작한 태양전지로 태양 빛에서의 성능을 평가하였다.

<그림 2> 일반적인 태양전지에서의 광여기 전하 이동

2.2 태양전지(photovoltaic cell)로의 응용

그림 3은 태양전지의 전류-전압(I-V) 특성 곡선을 나타낸다. 이것은 광기전력 효과를 나타내는 전형적인 그림인데, 특히 빛을 쬐지 않았을 때의 I-V 곡선은 LED의 전형적인 I-V 특성 곡선의 모습이다. 그러나, 빛을 쬐었을 때는 I-V 곡선이 빛을 쬐지 않았을 때와는 달리 아래쪽으로 내려가 있다는 사실을 발견할 수 있다. 이는 즉, 전압을 걸지 않았는데도, 전류가 흐르고 있다는 것을 나타내고 있다. 이 때의 전류를 '단락전류(short circuit current)'라고 부르고 그림에서 전류가 '0'일 때의 전압을 '개방전압(open circuit voltage)'라고 한다. 이 그림에서 알 수 있는 것은 우선 광 다이오드에서 중요시하는 '양자효율' 또는 '전하 수집효율'이다. 이것은 입사된 빛의 광자 하나 당 발생된 carrier의 개수로 정의된다.



<그림 1> Conjugated 구조의 CuPc(Copper Phthalocyanine)

2. 본 론

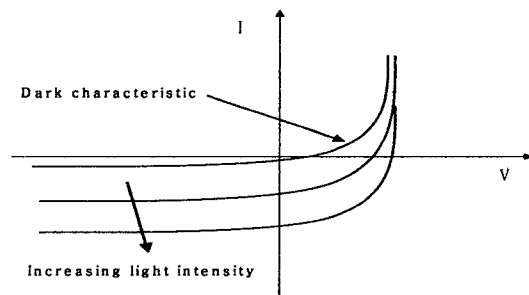
2.1 광여기 전하 이동 현상

태양전지는 태양 빛(photons)에 의한 전자 충전구조로서 전기에너지를 빛 에너지로 변환시키는 발광 다이오드(light emitting diode, LED)와는 반대 구조를 갖는다. 일반적인 태양전지는 양단간의 전극 사이에 p-n 접합 다이오드(p-n junction diode)로 이루어져 있다. 그리고 광전 에너지 변환(photovoltaic energy conversion)을 위해 태양전지가 기본적으로 갖춰야 하는 요건은 반도체 구조 내에서 전자들이 비대칭적으로 존재해야 한다는 것이다. 전도대와 가전자대 사이의 에너지 차이인 밴드갭 에너지(band gap energy) 이상의 빛을 가했을 경우, 이 빛 에너지를 받아서 전자들은 가전자대에서 전도대로 여기(excite)된다. 빛을 흡수하여 여기된 전자는 정공을 결합함에 남겨둔 채 전도대로 옮겨가면서 정공과 전자가 서로 분리된다. 이들이 중성 엑시톤을 만들기 전에 여기된 전자가 가까이 있는 다른 분자단의 전자대로 옮겨가게 되면 전류가 발생한다. 정공

$$\eta_c = \frac{N_{el}}{N_{ph}} = \frac{I_{sc}}{e} \frac{h\nu}{P_{inc}}$$

$$= \frac{hc}{e} \frac{I_{sc}}{P_{inc} \lambda}$$

여기서 I_{sc} 는 단락 전류, P_{inc} 는 입사되는 빛의 일률, λ 는 입사되는 빛의 파장을 나타낸다.



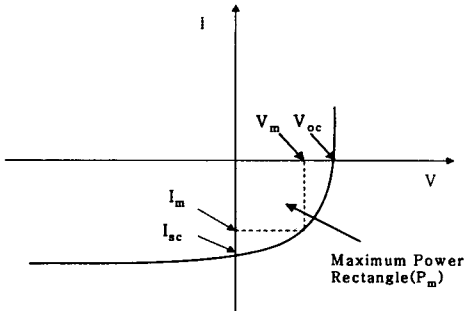
<그림 3> 태양전지의 I-V 특성 곡선

여기서부터는 태양전지에서 가장 중요한 에너지 전환 효율에 대하여 이야기하겠다. 에너지 전환 효율은 빛을 쬐었을 때의 I-V 특성 곡선에서 정의된다. 그림 4를 보면 그래프의 제 4사분면에 있는 곡선 내에 최대 면적을 가지는 사각형을 그릴 수 있다. 이 때, 이 사각형에 의해서 정의되어지는 전류 값과 전압 값을 각각 I_m , V_m 이라고 한다. 여기서 Fill Factor를 정의하면 다음과 같다.

$$FF \equiv \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}}$$

태양전지의 효율 η 은 전지에 의해 생산된 최대 전력과 입사광 에너지 P_{inc} 사이의 비율이다.

$$\eta_e = \frac{I_m V_m}{P_{inc}} = FF \frac{I_{sc} V_{oc}}{P_{inc}}$$



<그림 4> 빛을 쬐었을 때의 I-V 특성 곡선 : Fill Factor의 정의

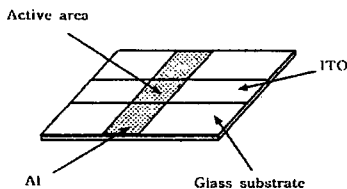
2.3 실험

2.3.1 ITO(Indium-Tin Oxide) 양극의 patterning 및 cleaning

본 실험에서는 양극으로 사용한 ITO 투명전극의 patterning 방법은 실험실에서 간단히 적용할 수 있는 wet-etching법을 사용하였다. patterning 순서는 ITO가 전면 코팅된 유리 기판을 2cm×2cm 크기로 자른 뒤, 다시 폭 5mm의 ITO 부분만을 남겨두고 산으로 에칭한다. 이때 산은 왕수로서 질산 : 염산 = 1 : 3 비율로 제조하여 사용하였다. 내산재료로는 3M 반투명 접착 테이프를 사용하였으며, 에칭 시간은 약 3분 40초로 하였다. patterning된 ITO를 cell holder에 고정시킨 후 중성세제 용액, Acetone, Trichloroethylene 증류수, Iso-propyl Alcohol(IPA) 등으로 10분씩 초음파 세척하였다. 세척된 ITO를 Ethyl alcohol에 보관하여 증착 과정에 들어가기 직전에 patterning된 ITO를 건조시켜 사용하였다.

2.3.2 고분자 박막과 음극의 제작

이 실험에서는 CuPc (Phthalocyanine copper) 박막과 음극인 Al의 제작에 열저항 방식의 진공 증착기를 이용하였다. 진공 증착기는 확산펌프를 사용하고, 최대 압력 2 × 10⁻⁶ Torr까지 가능하다. 막두께 조절은 수동진동자를 이용한 Thickness monitor (Intelmetrics IL820)를 사용하였다. CuPc (Phthalocyanine copper)는 α-form으로 50nm의 두께로 증착하였다.

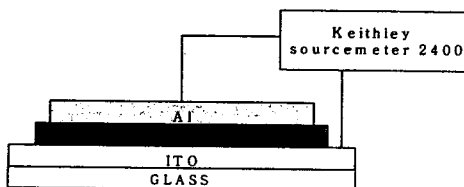


<그림 5> CuPc로 제작한 태양전지의 구조

음극인 Al 재료로는 Aldrich사의 purity 99.999%인 지름 1mm wire를 사용해서 100nm의 두께로 증착하였다.

2.3.3 성능 평가 실험

제작된 태양전지의 전기적 특성 및 성능평가는 Keithley사의 source-meter 2400을 이용해서 Current와 Voltage의 관계를 조사하였다. 광원으로는 태양광을 이용하였고 일반적으로 일조량이 가장 많은 시간인 정오(13시-15시)시간대에 햇빛 아래서 측정했다. 그리고 비교를 위해 빛이 없는 상자 안에서 다시 한번 측정했다.



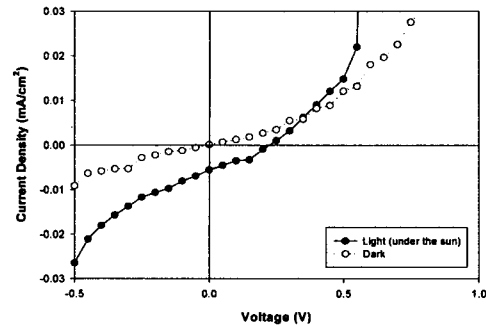
<그림 6> 측정장치

2.4 실험결과 및 고찰

2.4.1 태양전지의 효율

그림 7은 CuPc로 제작된 태양전지의 빛을 쬐었을 때와 쬐어 주지 않을 때의 I-V 특성 곡선을 보여주고 있다. 빛을 쬐어 주지 않을 때의 태양전지는 광 기전력 효과가 전혀 보이지 않고 있으며, 전형적인 다이오드의 I-V 특성곡선을 보여주고 있다. 이에 비하여 빛을 쬐어 주었을 때는 두드러진 광 기전력 효과를 보여주고 있다. 즉, bias를 걸어주지 않은 상태인 0 volt에서 음의 전류값을 보여주고 있으며, 0.23 V가 되어야 비로소 전류값은 0이 되고 그 후에는 양의 값을 가지는 전류가 흐르게 된다. 이 그림으로부터 open circuit voltage(Voc)는 0.23 V, short circuit current(Isc)는 0.0055 mA/cm²로 확인되었다. 측정된 값으로부터 계산된 Fill Factor는 0.39 였고, 효율은 약 0.5 % 이었다.

간 날의 태양빛은 1㎡당 1kW의 에너지를 지표에 공급하므로 태양 전지가 받는 에너지는 0.1w/cm²인 셈이다. 이전에 보고된 CuPc를 이용한 태양전지의 성능 측정에서는 1kw xenon arc lamp를 이용하였다. 이에 비해 본 실험에서는 광원의 세기가 약했음을 고려했을 때 어느 정도의 전류가 생성되었다고 본다.



<그림 7> CuPc로 제작된 태양전지의 빛을 쬐었을 때와 쬐지 않았을 때의 I-V 특성 곡선

2.4.2 태양전지의 효율개선

태양전지의 효율을 특정 지워주는 변수는 open-circuit voltage(Voc), short-circuit current(Isc), 그리고 fill factor(FF) 등이다. 동종접합(homojunction)의 경우를 예로 들어 설명하자면, 얻을 수 있는 최대한의 Voc값은 p-type 반도체와 n-type 반도체 사이의 일함수 값(work function)의 차이로 주어지며, 이 값은 반도체의 밴드갭에 의해 결정되므로, 밴드갭이 큰 재료를 사용하면 대체로 높은 Voc값이 얻어진다. Short-circuit current(Isc)는 우선적으로 입사광의 세기와 파장분포(spectral distribution)에 따라 달라지지만, 이러한 조건이 결정된 상태에서는 광흡수에 의해 여기된 전자와 정공이 재결합(recombination)하여 손실되지 않은 채로 얼마나 효과적으로 전지 내부에서 외부로 쪽으로 보내어지는가가 중요한 요소가 된다. 이때 재결합에 의한 손실은 재료의 내부에서나 계면에서 일어날 수 있다. 또한 Isc를 크게 하기 위해선 태양전지 표면에서의 태양 빛의 반사율을 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 Voc도 감소하게 되므로 적절한 밴드갭을 가진 재료가 필요하다. 따라서 최대크기의 Voc와 Isc값을 얻기 위해 계산된 이론적인 최적의 밴드갭 에너지는 1.4eV가 된다.

3. 결 론

태양전지의 구조나 유리표면에서의 빛의 반사등의 문제점 때문에 그 효율은 낮았지만, 이 실험을 통하여 유기물 반도체가 태양전지로 응용될 수 있음을 명백히 확인할 수 있었다. 유기물 반도체 물질이 개선되고, 태양전지를 제작할 때 가장 효율을 높일 수 있는 구조를 고안하여 그 방법을 선택한다면, 앞으로 더 높은 효율을 가진 유기물 태양전지를 개발할 수 있을 것이라고 생각한다.

[참고 문헌]

- [1] 새로운 전기기술 이야기 -성안당-
- [2] 초고효율 결정질 실리콘 태양전지 개발 -삼성 sdi-
- [3] 태양전지란 무엇인가 -구와노 유키노리-
- [4] 태양을 잡자 -임 상 훈-
- [5] 태양전지 원론 = Principle of solar cell / 이재형, 임동건, 이준신 공저
- [6] Phd Thesis by Dipl. Ing. Klaus Petritsch, *Organic Solar Cell Architecture*, (Cambridge and Graz, July 2000)
- [7] F. L. Pedrotti, S. J., L. S. Pedrotti, *Introduction to optics*, (Prentice-Hall, Inc., 1993)