광기전소자에 이용되는 CuPc의 주파수 응답

이은혜, 안준호, 정용환, 이원재*, 김태완
홍익대학교, 경원전문대학*

Frequency Response of CuPc using Photovoltaic Cell

Eun Hye Lee, Joon Ho Ahn, Yong Hwan Chung, Won Jae Lee*, Tae Wan Kim
Hongik Univ., Kyungwon Col.*

Abstract :

광기전소자는 유한하고 환경오염을 유발시키는 화석연료를 대체할 수 있는 무한하고 친환경적인 에너지로 많은 사람들의 관심을 받고 있다. 하지만 30%에 못 미치는 에너지 변환 효율은 아직 미래의 에너지로 활용하기 위해서 많은 연구와 개발이 필요한 분야이다. 또한 무기재료를 이용한 광기전소자는 비싼 가격으로 인하여 대중적으로 이용하기에는 어려움이 뒤따르고 있다. 하지만 유기재료를 소재로 이용한 광기전소자는 상대적으로 저렴한 가격과 유연한 소자의 제작에 유리한 점 때문에 많은 연구자들의 관심을 끌고 있다. 본 연구에서는 광기전소자의 개발에 널리 활용되는 CuPc를 이용하여 주파수 응답 특성을 살펴봄으로써 재료가 가지고 있는 전기적인 특성을 살펴보았다.

Key Words : Organic Photovoltaic Cell, CuPc, Frequency Response

1. 서 론

1839년 금속전극과 전해질을 이용한 광기전효과(Photovoltaic Effect)가 Edmond Becquerel에 의해 발견된 이후, GaAs 등 III-IV 족 화합물 반도체를 이용하여 30% 정도의 전력변환효율을 가지는 무기 태양전지가 개발되었다. 그러나 무기 태양전지는 많은 제조단계와 고온에서의 제조과정이 필요하며, 또한 비싼 제조단가로 인해 상업적 이용에 제한적이다. 반면 유기 태양전지는 상온에서 제조가 가능하고 제조 공정이 간편하여 소재의 가격이 상대적으로 저렴하다는 장점이 있다. 또한 박막 형성이 쉽고 대면적화가 용이하며, 고분자소재의 경우는 유연한 소자의 개발도 가능하다. 우수한 특성을 가진 유기 태양전지의 가장 큰 단점은 무기 태양전지에 비해 유기 태양전지가 가지고 있는 3~4%에 불과한 전력 변환 효율이다. 따라서 전력변환효율을 높이기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.

본 연구에서는 유기 태양전지에 이용되는 CuPc의 임피던스 특성을 살펴보았다. 임피던스 분석은 절연체에 바이어스 전압을 인가하고 주파수에 따른 전기적인 특성을 살펴보는 방법으로 오래된 역사를 가지고 있으며, 유기물 고분자에 관한 임피던스 연구는 몇몇 연구결과를 가지고 있다.

1995년 Nguyen은 PPV를 이용한 주파수에 따른 용량성분을 분석하였고, 그에 따른 컨덕턴스, tan δ 등을 분석하였다.[1] 고주파수에서는 벌크 영역에서의 완화를 보이고, 저주파수에서는 전극과 계면 사이에서 완화현상을 보인다고 주장하였다. 또한 Cole-Cole 반원을 통해 각각 계면과 벌크 내 RC 병렬로 연결된 회로와 이것이 직렬로 연결된 등가회로를 제시하였다. Harrison은 PPV와 MEH-PPV의 용량성분을 분석하고, 쇼트키 다이오드 특성으로 해석하였다.[2]

Li 등은 LED(light-emitting diodes)와 LEC(light-emitting chemical-cell)의 비교를 통해 LED의 등가회로를 제시하면서 ITO의 저항 R_0를 직렬로 연결한 RC 병렬 회로로 제시하였다.[3] 또한 단층이지만 두 개의 Cole-Cole 반원으로 나타난 등가회로를 해석하고 작은 반원은 음전극 Al과 고분자가 계면에서 결합하여 Al_2O_3의 얇은 층을 만든 것으로 해석하였다.

또 Jonda는 논문에서 PVK 등의 고분자와 Alq_3를 이용하여 각각 단층과 복층의 임피던스를 측정하고 Cole-Cole 반원 분석을 통해 임피던스의 전압에 관한 의존성을 나타내고, 등가회로를 통해 전극과 유기물간의 접촉저항으로 해석하고, 각각 R_0와 RC의 병렬 회로의 직렬 회로로 보았다.[4]

또한 복층에서는 두 개의 Cole-Cole 반원을 나타내고 각각 접촉 저항과 병렬 회로의 고분자 층, Alq_3층의 직렬회로로 보았다. 그리고 Berleb은 NPB와 Alq_3의 복층 소자에서 Alq_3의 두께를 변화시키면서 용량성을 측정하여, 전이

전압 이상에서는 Alq_3층만의 용량성을 보이고, 전이전압 이하에서는 NPB와 Alq_3층의 용량성이 나타남을 보였다.

2. 실 험

양극으로 사용된 ITO 기판은 표면 저항이 15 Ω/□로 염산과 질산을 이용하여 너비 5 mm로 패터닝하였다. PEDOT:PSS는 4000 rpm에서 1분간 스핀 코팅하였다.

증착기 내의 증착 시 진공도가 8×10^{-6} torr 상태에서 CuPc는 100 nm로 증착하였다. 음전극으로 사용된 Al은 너비 3 mm, 두께 100nm로 유기물 위에 증착하였다.

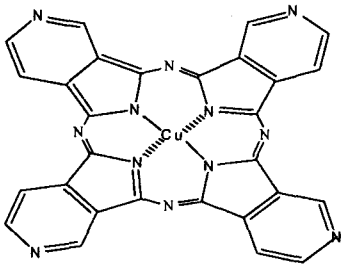
그림 1과 2는 CuPc의 구조와 소자의 구조를 나타내었다. 광원으로는 500 W xenon 램프로 광원을 소자에 조사하고, 그 광원의 세기를 photometer로 측정한다. 그리고 광원의 세기는 소자와 xenon 램프 사이에 AM 1.5D 필터와 optical density filter 6종을 홀더에 삽입, filter를 이용하여 투과율을 가변시켜 광원의 세기를 조절하였다. 소자와 optical density filter holder는 검은 테스트용 박스 안에 설치하여 외부로부터 광원의 영향을 받지 않도록 실험 조건을 조성하였다. 자체 제작한 SMU 프로그램을 이용하여 소자의 전기적 및 광기전 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

일반적으로 교류회로에서 정현적으로 변동하는 전압은

$$e = E_m \sin \omega t \qquad \text{(식 1)}$$

로 나타낼 수 있다.



CuPc

그림 1. 실험에 사용된 CuPc의 분자구조.

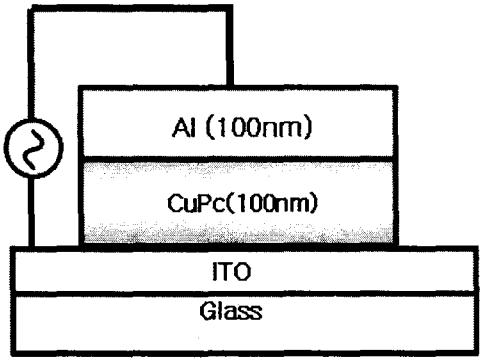


그림 2. 실험에 사용된 유기 광기전소자의 구조.

임피던스는 교류에서 전류의 흐름을 제한하는 것으로 나타나는데, Z로 표시되며, 이를 직교좌표로 표현하면,

$$Z = R + jX = Z' + jZ'' \qquad \text{(식 2)}$$

로 표현할 수 있다.

유기 광기전소자는 소자의 양단의 전극과 그 사이에 절연체를 삽입한 구조이다. 따라서 소자의 유도성 성분은 없는 것으로 가정할 수 있고, CuPc의 내부는 저항성분과 용량성분이 각각 병렬로 구성되었다고 할 수 있다. 또 전극과 절연체 사이의 접촉 저항을 가정할 수 있다.

따라서 접촉저항을 나타내는 하나의 직렬연결과 내부저항성분과 용량성분이 병렬로 연결된 등가회로를 만들 수 있으며, 이를 통해 CuPc의 임피던스 특성을 살펴보았다.

4. 결 론

유기 광기전 소자에 사용되는 CuPc를 이용하여 주파수 응답 특성을 살펴보았다. 본 연구를 통하여 유기 광기전 소자에 사용되는 고분자 유기물의 임피던스 및 전기적 특성을 통하여 기본적인 물성과 계면에서의 특성을 알 수 있었다.

참고 문헌

[1] T.P. Nguyen, V.H. Tran, "Dielectric properties of poly(phenylene-vinylene) thin films", Materials Sci. and Eng. B31, pp. 255-260, 1995.

[2] M.G. Harrison, J. Grüner, G.C.W. Spencer, "Investigations of organic electroluminescent diodes by impedance spectroscopy, photo-impedance spectroscopy and modulated photovoltage spectroscopy", Synth. Metals, Vol.76. pp.71-75, 1996.

[3] Yongfang Li, Jun Gao, Gang Yu, Yong Cao, Alan J. Heeger, "ac impedance of polymer light-emitting electrochemical cells and light-emitting diodes: a comparative study", Chem. Phys. Lett. Vol.287, pp. 83-88, 1998.

[4] Christoph Jonda and Andrea B.R. Mayer, "Investigation of the Electronic Properties of Organic Light-Emitting Devices by Impedance Spectroscopy", Chem. Mater. Vol. 11, pp. 2429-2435, 1999.