

## 상대전극 Pt 두께에 따른 염료감응형 태양전지의 광전특성 연구

서 현웅<sup>1)</sup>, 김 미정<sup>2)</sup>, 홍 지태, 여 태빈, 김 희제<sup>3)</sup>

### A Study on The Photoelectric Characteristics of Dye-sensitized Solar Cell according to Pt Thickness of Counter-electrode

Hyunwoong Seo, Mijeong Kim, Jitae Hong, Taebin Yeo, Heeje Kim

**Key words** : Dye-sensitized Solar Cell(염료감응형 태양전지), Photoelectric Characteristic(광전특성), Pt Thickness of Counter Electrode(상대전극의 백금 두께), Reflexibility(반사율)

**Abstract** : 전세계적으로 에너지난과 환경오염난을 겪고 있는 가운데 최근 대체에너지에 대한 관심이 어느 때보다 높은 시기이다. 다양한 대체에너지 중에서도 태양광 에너지는 우리나라 환경에 적합해 많은 연구가 진행 중인 분야이다. 대부분의 태양광 발전 시장이 결정질 실리콘 태양전지가 차지하고 있으나 경제성의 한계로 인해 최근 염료감응형 태양전지가 이를 대체할 수 있는 전지로 주목받고 있다. 본 연구에서는 염료감응형 태양전지의 상대전극에 증착하는 백금층의 두께 변화가 가져오는 출력특성의 영향을 연구했다. 상대전극에 증착되는 백금 박막은 염료감응형 태양전지의 매커니즘에서 입사광의 반사와 전기화학적 촉매작용 역할을 하는 것으로 박막의 두께가 두꺼워지면 반사율이 증가해 염료 분자가 받는 에너지가 늘어날 것으로 예상했다. 상대전극에 백금 Sputtering하는 시간을 1분에서 최대 5분까지 차를 두어 상대전극의 백금 박막의 두께를 50nm~250nm로 변화를 주어 측정한 결과, 250nm의 백금 박막층을 갖는 염료감응형 태양전지보다 백금 박막층이 150nm의 두께를 가질 때 가장 좋은 효율을 출력한다는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 상대전극의 백금 박막층에 의한 거울 효과와 촉매작용의 한계와 전자의 흐름 장애에 대한 결과를 얻을 수 있었다.

### 1. Introduction

최근 전세계적으로 고유가 행진이 지속되고 온실가스 감축이 지상과제로 떠오름에 따라 세계 각국은 대체에너지 분야에 큰 관심을 두고 연구, 개발에 매진하고 있다. 이미 우리나라의 정부나 기업에서도 대체에너지에 대한 필요성을 충분히 인식하고, 다양한 대체에너지 중에서도 일조량이 풍부한 우리나라에 적합한 태양전지에 대한 관심을 점차 키워가는 추세이다. 현재 태양전지 시장은 결정질 실리콘(Si) 태양전지가 대부분을 차지하고 있지만 실리콘 웨이퍼의 가격 상승과 기술적인 포화 등과 맞물려 정부차원의 보조없이 경제성을 갖지 못 하고 있는 상태이다. 이에 따라 저가의 제조비용과 투명성, 유연성 등을 장점<sup>1)</sup>으로 한 염료감응형 태양전지(DSC : Dye-sensitized Solar Cell)가 그 대안으로 주목을 받고 있다.<sup>2)</sup> 하지만 염료감응형 태양전지는 아직까지 효율 면에서 결정질 실리콘 태양전지에 미치지 못 하고 있어 꾸준한 연구, 개발이 필요한 실정이다. 본 연구는 이와 같은 흐름에 발맞

추어 염료감응형 태양전지의 효율 개선에 초점을 두었다. 염료감응형 태양전지는 투명전극, 나노 입자의 다공질 TiO<sub>2</sub>, 염료고분자층으로 구성된 광전극과 투명전극과 백금(Pt)층으로 구성된 상대전극, 그리고 두 전극 사이를 산화환원용 전해질 용액으로 채우고 있는 샌드위치형 기본 구조를 갖는다.<sup>2)</sup> 동작원리를 살펴 보면, 태양광이 전지에 입사되면 염료고분자가 에너지를 흡수해서 여기되어 전자를 방출해 TiO<sub>2</sub>의 전도대로 보내게 되고 방출된 전자는 전극으로 이동하여 외부 부하에 전기에너지를 전달한다. 염료는 잃은 전자를 산화환원용 전해질 용액으로부터 공급받아 원

- 1) 부산대학교 전자전기공학과  
E-mail : woong\_1980@hotmail.com  
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
- 2) 부산대학교 전자전기공학과  
E-mail : now82mj@nate.com  
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
- 3) 부산대학교 전자전기공학과  
E-mail : heeje@pusan.ac.kr  
Tel : (051)510-2364 Fax : (051)513-0212

래의 저에너지 상태(안정상태)로 돌아가게 되는데, 이 때 사용되는 전해질은 iodide/ tri-iodide 쌍으로써 산화환원 작용을 하는 역할을 담당한다.<sup>3)</sup> 여기서 상대전극에 코팅되는 백금층은 입사광의 반사율을 높임과 동시에 염료감응형 태양전지의 매커니즘에 있어 전기화학적 촉매작용을 한다. 본 연구는 상대전극에 코팅되는 백금층의 두께를 변화시킬 때 염료감응형 태양전지의 특성 변화에 대해 연구했다. 백금 박막의 두께는 100nm 이상이 되면 염료감응형 태양전지의 효율에 그다지 영향을 미치지 못 한다는 기존 연구 결과가 발표되었으나<sup>4)</sup> 본 연구는 백금층의 두께가 입사광의 반사율과 촉매작용에 영향을 줄 수 있다고 예상했다. 유효면적 1cm<sup>2</sup>의 염료감응형 태양전지를 대상으로 백금 Sputtering 시간을 5종류로 나누어 실험한 결과, 최대 약 1%의 효율 상승을 이끌어 낼 수 있었다.

## 2. Experiment

본 연구에서 이용하는 변수는 상대전극의 백금 박막의 두께이기 때문에 기타 제조공정이나 환경, 재료 등은 동일한 상태로 실험했다.

### 2.1 광전극의 제작

염료감응형 태양전지의 광전극은 나노 사이즈 TiO<sub>2</sub> 입자를 투명전극(transparent conducting oxide : TCO) 위에 10 $\mu$ m 두께로 스크린 프린팅하고 450 $^{\circ}$ C를 유지한 상태에서 0.5시간동안 소성함으로써 염료 분자가 최대한 많이 흡착될 수 있도록 TiO<sub>2</sub>층의 다공질 구조를 형성한 후 방진상태에서 상온까지 2시간동안 자연 냉각시켰다. 그 후, 염료 분자층의 흡착을 위해 N719 염료 (RuC<sub>58</sub>H<sub>86</sub>N<sub>8</sub>O<sub>8</sub>S<sub>2</sub>)에 24시간(상온)동안 침착시키고<sup>5)</sup> 99.9% 에틸알콜(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)에 20여분간 침지시켜 염료 고분자의 단분자층을 형성했다.

### 2.2 상대전극의 제작

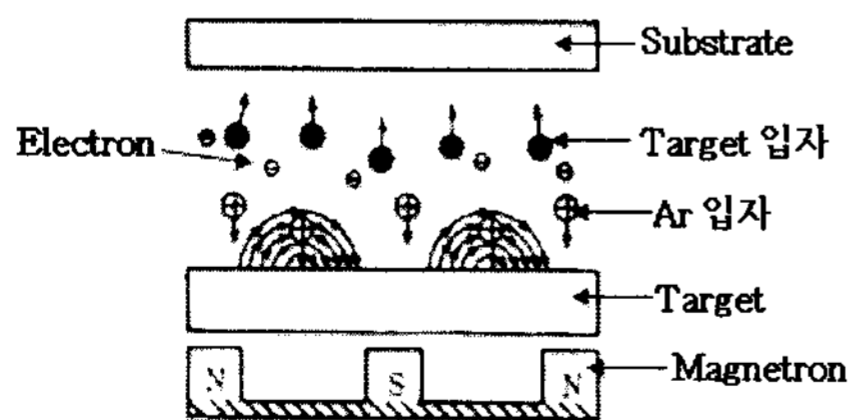


Fig. 1 Block Diagram of RF Sputtering System

상대전극은 sand-blast 공정을 통해 pin-hole 을 형성한 후  $2.8 \times 10^{-3}$  Torr, 100 $^{\circ}$ C의 진공챔버 내에 150W, 13.56MHz의 radio frequency sputter power를 인가하는 Radio Frequency Magnetron Sputtering 방식을 적용했다. 그림 1과 같은 구조의 sputtering용 챔버에 타겟과 금속기판을 sputtering이 원활하게 발생할 수 있도록 평균자유행정(Mean Free Path)이 확보되는 거리만큼 사이를 두고 Sputtering 매개로 불활성원소인 아르

곤(Ar)을 주입한 후 RF power를 인가했다. 각각 Sputtering 시간을 1분~5분까지 1분 단위로 차이를 두어 실험함으로써 50nm~250nm 두께의 백금 박막층을 형성했다.

### 2.3 염료감응형 태양전지의 제작

위 과정을 통해 제조한 광전극과 상대전극을 60 $\mu$ m 두께의 Thermoplast hot-melt sealing sheet를 사용해 5초간 100 $^{\circ}$ C로 열과 압력을 가해 실링하고 pin-hole을 통해 low viscosity의 iodide에 50mM의 tri-iodide가 함유된 redox electrolyte를 주입한 후 pin-hole을 실링해 염료감응형 태양전지를 완성했다.

### 2.4 측정

태양전지의 측정은 Solar Simulator로 air mass(AM) 1.5의 조건(100mW/cm<sup>2</sup>) 하에서 진행되었다. Solar Simulator에 의한 광전특성 외에 Photometer로 태양전지를 투과하는 광량을 측정함으로써 상대전극의 백금 박막 두께에 따른 반사율도 측정했다. 반사율에 따라 염료 분자들이 받는 광에너지 또한 변화해서 출력에 영향을 주기 때문이다. 또한 Laser Scan Meter를 이용해 백금 박막의 두께도 함께 측정했다. 본 논문에서 사용되는 Sample Number 1~5는 각각 1~5분의 Sputtering 시간을 갖는 염료감응형 태양전지를 말한다.

## 3. Result

그림 2는 상대전극 백금 박막층의 두께에 따른 반사도를 나타낸 그래프이다. Sputtering 시간이 길어짐에 따라 백금층의 두께가 증가하게 되어 거울 효과가 커지는 것을 알 수 있다.

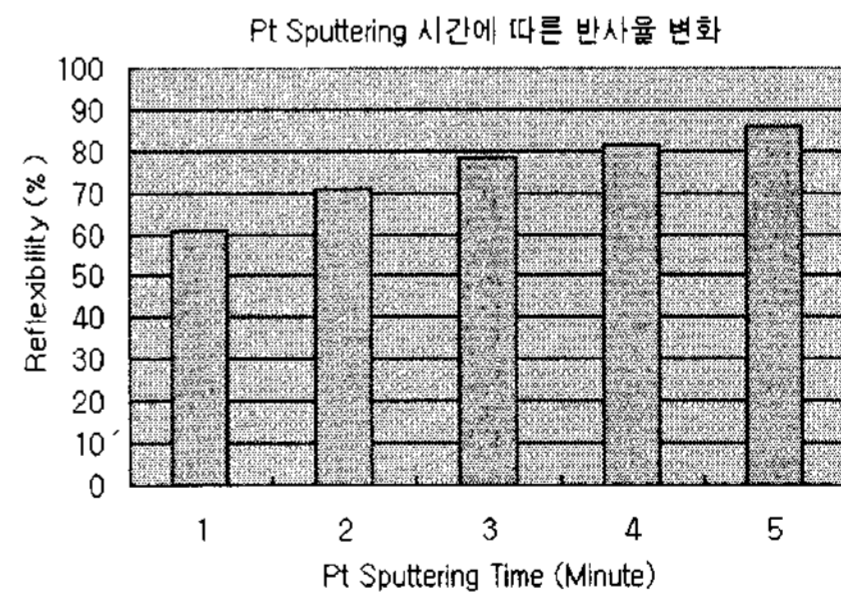


Fig. 2 백금 Sputtering 시간에 따른 반사율

그림 3은 상대전극의 백금 박막 Sputtering 시간에 따른 출력특성을 나타내는 I-V Curve이다. 육안으로도 확연히 출력의 차이를 알 수 있지만 출력이 Sputtering 시간에 비례하지는 않는다는 것 또한 확인할 수 있다. 실험 전, 백금 박막층이 두터워짐에 따라 거울 효과가 커져서 입사광이 증가할 것이라 예상했다. 비록 태양전지 내의 염료 분자의 수나 전해질이 가진 전하량 등 제한적인 요소들이 존재하고 광도가 증가할수록 Fill Factor(FF)가 낮아지는 염료감응형 태양전지의 특성 때문에 입사광량 또는 입사광도의 증가에

대해 선형적인 출력 증가를 보이지는 않지만 염료감응형 태양전지의 입사광과 출력은 분명 비례 관계에 있다.

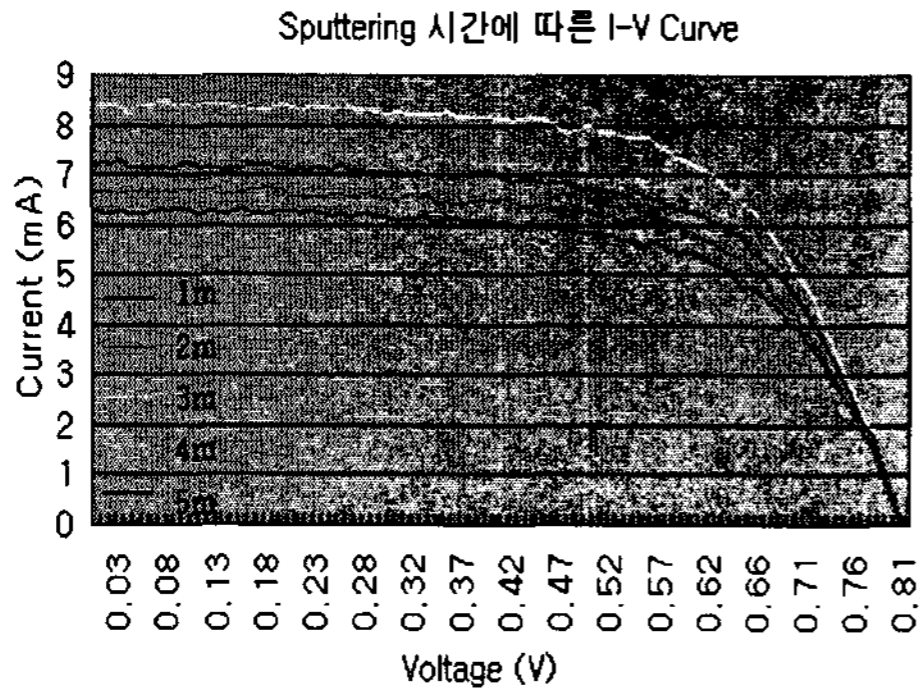


Fig. 3 Sputtering 시간에 따른 I-V Curve

표 1에서 확인할 수 있듯이, Sample 1에서 3까지의 변화를 볼 때 그 효과는 확실히 인지할 수 있다. TiO<sub>2</sub>의 밴드갭에 의한 work function에 의해 결정되는 open circuit voltage(Voc)의 경우, 백금층의 두께와 무관하게 유사한 값을 가지지만 광에너지를 받은 염료 분자의 여기에 의해 발생하는 short circuit current(Isc)의 경우, Sputtering 시간이 1분에서 3분으로 늘어남에 따라 점차 증가한다. 하지만 Sample 3에서 5로 갈수록 출력은 오히려 감소해 앞서 말한 입사광의 효과에 역행하고 있다. 즉, 상대전극의 백금 박막층의 두께는 어느 정도 증가할수록 입사광의 반사에 대한 거울 효과를 통해 출력의 증가를 유도하지만 적정 두께를 넘어서게 되면 오히려 출력을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다는 의미이다. 이는 입사광에 대한 거울 효과가 포화 상태가 되고 백금층의 전기화학적 촉매작용이 저하됨과 동시에 전해질과 투명전극 사이에 막을 형성해 원활한 전자의 흐름을 방해하기 때문이다.

Table 1 Sputtering 시간에 따른 특성

Sample No.	Voc (V)	Isc (mA)	Pmax (mW)	FF	Eff. (%)
1	0.8	6.33	3.22	0.64	3.22
2	0.8	6.74	3.48	0.65	3.48
3	0.8	8.46	4.2	0.64	4.2
4	0.81	7.65	3.92	0.65	3.92
5	0.8	7.28	3.69	0.64	3.69

결과적으로 그림 3과 표 1에서 확인한 바와 같이, 상대전극의 sputtering 시간은 약 3분, 즉, 150nm 정도의 백금층 두께에서 가장 좋은 효과를 나타낼 수 있었고 이는 1분간의 sputtering을 통해 증착한 50nm의 백금층을 갖는 염료감응형 태양전지에 비해 효율과 출력 면에서 약 1% 향상된 결과를 출력한다는 것이 확인되었다.

## 4. Conclusion

본 연구에서는 염료감응형 태양전지의 구성 요소 중 입사광의 반사 효과 및 전기화학적 촉매 작용을 하는 상대전극의 백금 박막층의 변화에 따른 전지의 특성을 다루었다. 염료감응형 태양전지의 특성상 백금 박막층이 두꺼워질수록 거울 효과가 증대되어 출력이 향상될 것으로 예상했으나 거울 효과는 약 3분의 sputtering, 즉, 150nm의 두께까지 유효했고 이후로는 sputtering 시간이 길어질수록 백금층의 전기화학적 촉매작용이 저하됨과 동시에 전해질과 투명전극 사이의 전자의 원활한 흐름을 방해하는 막으로 작용하게 되어 효율이 저하된다는 결과를 얻었다. 다시 말해, 염료감응형 태양전지의 상대전극 백금 박막층은 150nm의 두께에서 최적 전력을 출력한다는 것을 알 수 있다.

## 후기

본 연구는 과학재단 과제 (과제번호 : R01-2004-000-10318-0) 염료감응형 태양전지 연구의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- [1] R. D. McConnell, 2002, "Assessment of the dye-sensitized solar cell", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 6, Issue 3, Pages 271-293
- [2] B. O'Regan, M. Grätzel, 1991, "Optical electrochemistry I: steady-state spectroscopy of conduction band electrons in a metal oxide semiconductor electrode", Chemical Physics Letters, Volume 183, Issues 1-2, pp. 89-93
- [3] Yasuhiro Tachibana, Md. K. Nazeeruddin, M. Grätzel, David R. Klug and James R. Durrant, 2002, "Electron injection kinetics for the nanocrystalline TiO<sub>2</sub> films sensitised with the dye (Bu<sub>4</sub>N)<sub>2</sub>Ru(dcbpyH)<sub>2</sub>(NCS)<sub>2</sub>", Chemical Physics, Volume 285, Issue 1, Pages 127-132
- [4] Xiaoming Fang et al., 2004, "Effect of the thickness of the Pt film coated on a counter electrode on the performance of a dye-sensitized solar cell", Journal of Electroanalytical Chemistry, Volume 570, Issue 2, Pages 257-263
- [5] Michael Grätzel, 2003, "Dye-sensitized solar cells", Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, Volume 4, Issue 2, Pages 145-153