

상대전극의 반사율 증가에 따른 염료감응형 태양전지의 광전특성 연구

서현웅, 홍지태, 박제욱, 김희제
부산대학교 전자전기공학과

A Study on The Photo-electric Characteristics of dye-sensitized Solar Cell According to The Increase of Counter-electrode Reflexibility

Hyunwoong Seo, Jitae Hong, Jewook Park, Heeje Kim
Pusan National University Department of Electronics & Electrical Engineering

Abstract - 태양전지는 대표적인 결정질 실리콘 태양전지를 비롯해 다양한 종류가 있지만 모두 입사광의 광량이나 광도에 출력이 의존한다는 점은 공통적이다. 이는 입사광의 에너지를 받아 염료 분자의 여기를 통해 전자를 생산하는 염료감응형 태양전지의 매커니즘에도 적용되는 것이다. 즉, 입사광의 광도나 광량의 값이 클수록 염료감응형 태양전지는 더 높은 출력전력을 생산한다는 의미이다. 본 연구에서는 투명성 때문에 입사광의 투과도가 높은 염료감응형 태양전지의 특성에 착안해 상대전극에 금속박막을 sputtering함으로써 입사광의 반사율을 증가시켜 입사된 광의 에너지를 더 효과적으로 활용할 수 있는 방법을 시도했다. 금속박막의 재료로 니켈, 백금, 은을 대상으로 실험한 결과, 금속박막을 sputtering 하지 않은 경우에 비해 전체적으로 염료감응형 태양전지의 효율이나 전력면에서 개선된 결과를 얻었고 그 중 백금 반사막을 입힌 셀로부터 최대 24.4%의 투과도 감소를 비롯, 11.5%의 출력전력의 증가와 0.4%의 효율 상승을 이끌어냈다.

1. Introduction

세계는 지금 화석연료의 축적량이 눈에 띄게 감소하고 있고 온실가스의 배출량의 급증에 따라 지구온난화의 속도가 점차 빨라지고 있다. 이에 대해 각국의 온실가스 배출을 규제하는 교도의정서를 발표하고 일본의 '선사인 프로젝트', 미국의 '100만호 주택 태양광 시스템 사업' 등 전세계적으로 화석연료의 고갈과 오염에 대비해 이를 대체하기 위한 신·재생에너지 개발을 추진하고 있는 실정이다. 여러가지의 신·재생 에너지 중에서도 태양 에너지는 국내 환경에 비추어 볼 때, 적용하기에 가장 적합하기 때문에 많은 연구, 개발과 활용이 이루어지고 있는 상태이다. 태양전지에는 대표적인 결정질 실리콘 태양전지를 비롯해 실리콘계 적층형 박막 태양전지[1]나 염료감응형 태양전지[2], CIGS 박막 태양전지[3] 등 다양한 종류가 있다. 이러한 태양전지는 정도의 차이는 있지만 광량 혹은 광도에 의존해 전력을 출력한다는 공통점을 갖는다.[4] 즉, 입사하는 빛이 세거나 양이 많을수록 더 많은 전자를 발생시키고 더 큰 전력을 생산할 수 있다는 것을 말한다. 이는 현재 결정질 실리콘 태양전지의 대안으로 떠오르고 있는 염료감응형 태양전지 또한 적용되는 원리이다. 그림 1과 같이 염료감응형 태양전지는 입사된 광 에너지를 흡수한 염료분자가 여기되고 이로부터 전자가 발생해 외부로 전기에너지를 전달하는 매커니즘에 의해 동작한다.[5] 따라서 염료감응형 태양전지로 입사되는 광량이 많아진다면 여기되는 염료 분자의 수가 많아지게 되고 이에 따라 발생하는 전자의 수가 많아져 결과적으로 출력전력이 높아지게 될 것이다. 이를 다른 관점에서 본다면 앞서 말한 것처럼 입사광 자체의 세기나 양을 늘려 출력을 높이는 방법도 있지만 주어진 광을 더 효과적으로 활용함으로써 태양전지의 출력전력이나 효율을 상승시키는 것도 가능하다. 하지만 불투명한 결정질 실리콘 태양전지와는 달리 염료

감응형 태양전지는 투명성이라는 특성을 가지고 있기 때문에 입사한 광이 투과되는 경우가 많아서 입사광의 활용도가 높지 않은 편이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 입사한 광의 반사율을 높여 입력 광원의 활용을 극대화하고자 상대전극의 후면에 sputtering 방법을 통해 금속박막을 입힘으로써 입사광의 반사도를 높이는 시도를 했다. 백금(Pt), 니켈(Ni), 은(Ag)을 대상으로 실험한 결과, 최대 24.4%의 투과도 감소 및 11.5%의 출력전력 상승과 0.4%의 효율 상승을 얻을 수 있었다.

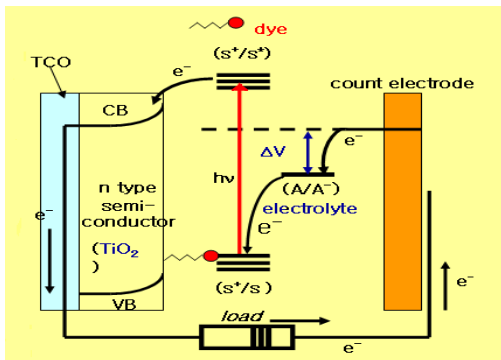
2. Experiment

2.1 염료감응형 태양전지의 제작

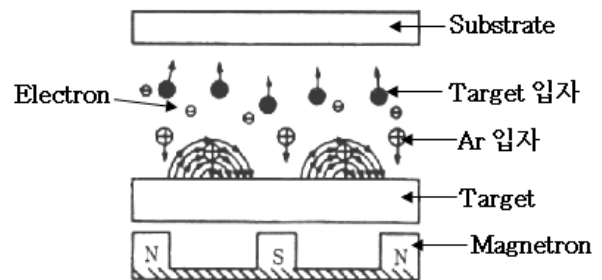
본 연구의 경우 상대전극의 금속박막을 제외한 모든 parameter가 동일하기 때문에 염료감응형 태양전지의 제작은 모든 셀에 대해 같은 제작공정을 적용했다. 광전극의 경우, 다공질 나노 크기의 균일 TiO₂ 입자를 투명전극(transparent conducting oxide : TCO) 위에 10μm 두께로 스크린 프린팅하고 450℃에서 0.5시간동안 소성해 H₂O 및 기타 잔여물을 제거한 다공질 구조를 형성한 후 방진상태에서 2시간동안 자연 냉각시켰다. 그 후, 염료분자층의 코팅을 위해 N719 염료(cis-bis(isothiocyanato)bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato)-ruthenium(II)bis-tertbutylammonium, RuC₅₈H₈₆N₈O₈S₂)에 24시간동안 상온(25℃)에서 침착시키고 염료 고분자의 복층 형성으로 인한 효율 저하를 방지하기 위해 99.9% 무수 에틸알콜(C₂H₅OH)에 20여분간 침지시킴으로써 염료 고분자의 단분자층을 형성했다. 상대전극의 경우, sand-blast 공정을 통해 pin-hole을 형성한 후 광전극과 동일한 투명전극 위에 0.2~0.3μm의 두께로 Pt 박막층을 형성했다. 위 방식을 통해 제조한 광전극과 상대전극을 60μm 두께의 Thermoplast hot-melt sealing sheet를 사용해 5초간 100℃로 열과 압력을 가해 실링하고 pin-hole을 통해 산화환원용 전해질을 주입한 후 pin-hole을 실링함으로써 염료감응형 태양전지를 완성했다. 본 연구는 상대전극에 석워진 금속 박막에 의한 영향을 판단하는 것이기 때문에 태양전지의 크기나 형태 및 공정뿐만 아니라 모든 재료와 환경이 동일하게 처리되었다.

2.2 상대전극의 금속박막 제작

상대전극의 금속박막 코팅은 2.8×10⁻³Torr, 100℃의 진공챔버 내에서 150W의 RF sputter power를 인가하는 Radio Frequency Magnetron Sputtering 방식을 적용했다. sputtering용 챔버 내에서 sputtering이 원활하게 발생할 수 있도록 타겟과 금속기판의 사이에 평균자유행정(Mean Free Path)만큼의 거리를 확보한 상태에서 불활성원소인 아르곤(Ar)을 매개로 주입한 후 RF power를 가해주었다. sputtering 시간이 길어질수록 박막의 두께가 증가해 재료의 원래 특성과 무관하게 반사율에 영향을 줄 수 있기 때문에 Ni, Pt, Ag 모두 동일한 시간(3m)동안 sputtering했다.[6],[7]



〈그림 1〉 염료감응형 태양전지의 원리 모식도



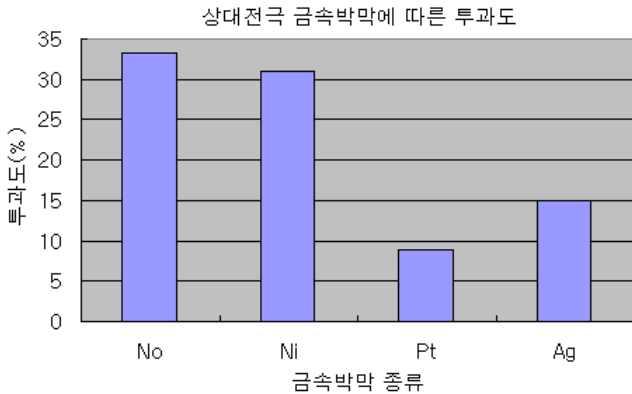
〈그림 2〉 본 연구의 RF Magnetron Sputtering의 모식도

2.3 측정

측정은 Solar Simulator로 air mass(AM) 1.5의 조건(100mW/cm²) 하에서 진행되었다. 광전특성 외에 Photometer를 이용해 태양전지를 투과하는 광량 또한 측정함으로써 상대전극 박막에 의한 반사율도 알아보고자 했다. 염료감응형 태양전지에서 입사광과 출력전류 또는 출력전력은 비례관계이기는 하지만 정확하게 선형적이지는 않다. 즉, 50mW/cm²의 광이 입사할 때에 비해 100mW/cm²의 광이 입사할 때 입력(입사광)은 2배가 되지만 출력(전력)이 정확히 2배가 되지는 않음을 의미한다. 이는 태양전지 내의 염료 분자의 수나 전해질이 가진 전하량 등 제한적인 요소들이 존재하고 광도가 증가할수록 Fill Factor(FF)가 낮아지는 염료감응형 태양전지의 특성에 의한 영향이다.

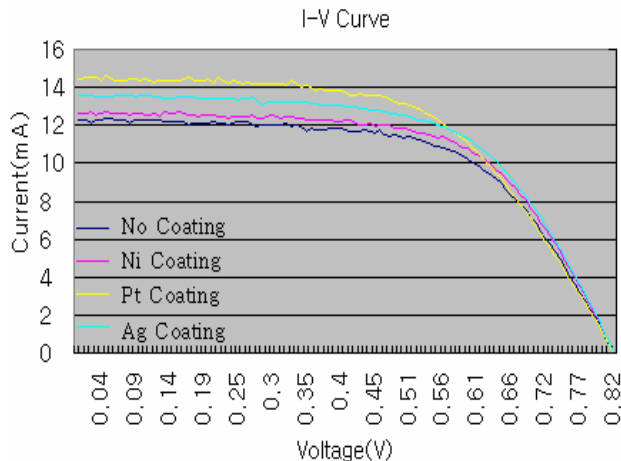
3. Result

그림 3은 상대전극에 금속박막 처리를 하지 않은 셀 (No Coating)과 니켈 박막 (Ni Coating), 백금 박막 (Pt Coating), 은 박막 (Ag Coating)을 sputtering한 염료감응형 태양전지의 투과도를 비교한 그래프이다. 니켈 박막은 박막처리를 하지 않은 것에 비해 크게 개선되지 않았지만 백금 박막과 은 박막은 약 24.4%, 18.3% 정도로 현저하게 감소한 투과도를 보인다. 즉, 투과한 광량이 줄어들었다는 것은 상대전극에서 반사된 광량이 증가했음을 의미하고 반사된 광량만큼 염료 고분자가 받는 광량이 증가한다는 것이다. 상대전극으로부터 반사된 광은 광전극 쪽이 아닌 상대전극 쪽에서 입사되는 역방향 광이어서 정방향광에 비해 같은 광량이나 광도라도 전달하는 에너지가 적을 수 있다는 점을 고려했다. 이러한 결과를 바탕으로 각각의 출력을 확인했다.



〈그림 3〉 상대전극 금속박막 종류에 따른 입사광 투과도

그림 4는 No Coating, Ni Coating, Pt Coating 그리고 Ag Coating에 대한 각각의 I-V Characteristic Curve를 나타낸 것이다. FF는 0.6 부근에서 거의 유사한 수준을 유지하고 있지만 No-Ni-Ag-Pt 순으로 출력전류가 증가하는 것이 확인되고 따라서 출력전력과 태양전지의 효율 또한 증가한다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 앞서 살펴 본 그림 3의 투과도에 반비례하는 결과이다. 이는 투과율의 감소, 즉, 반사율의 증가로 인해 염료감응형 태양전지로 입사하는 광량이 증가함에 따라 증가하는 광 에너지에 비례해 염료 고분자가 더 많은 수의 전자를 방출한다는 의미이다.



〈그림 4〉 상대전극 금속박막 종류에 따른 I-V Curve

하지만, 표 1의 출력전력을 투과도와 비교해 보면 투과도의 감소 정도 만큼 출력전력이 증가하고 있지 않음을 알 수 있다. 이것은 위에서 광량, 광도에 출력이 선형적으로 비례하지 않는다는 것과 역방향 입사광에 대해서는 현저히 낮은 효율을 보이는 염료감응형 태양전지의 특성 때문이다. 즉, 상대전극의 금속박막으로부터 반사된 빛의 세기가 약해진 것과 그 빛이 광전극 방향이 아닌 상대전극 방향으로 입사되었다는 것이 그 이유이다. 비록 염료감응형 태양전지의 출력이 상대전극의 금속박막을 통해 증가한 광량에 선형적으로 비례하지는 않았지만 금속박막을 sputtering한 염료감응형 태양전지의 출력이 증가한 것은 그림 3이나 표 1을 통해 확실히 판단할 수 있고 그 중에서도 백금 박막의 효과가 가장 우수함을 알 수 있다.

〈표 1〉 상대전극 금속박막에 따른 특성

Sputtered material	Voc (V)	Isc (mA)	Pmax (mW)	FF	Eff. (%)	투과도 (%)
No	0.82	12.3	6.1	0.61	3.1	33.2
Ni	0.80	15.6	6.3	0.60	3.2	31
Pt	0.82	14.6	6.8	0.60	3.5	8.8
Ag	0.82	13.6	6.7	0.61	3.4	14.9

4. Conclusion

본 연구에서는 상대전극에 금속박막을 sputtering함으로써 염료감응형 태양전지의 후면에 반사막을 형성했을 때 입사광에 대한 반사효과와 그 반사효과로 인한 태양전지의 출력 영향을 알아보려고 했다. 실험에 사용된 니켈, 백금, 은은 재료에 따른 차이가 있었지만 공통적으로 반사막으로서의 효과를 나타내어 각각 3.3%, 9.8%, 11.5%의 염료감응형 태양전지 출력전력의 증가를 유도했다. 이는 동일하게 입사한 광을 더 효과적으로 이용함으로써 염료감응형 태양전지의 효율을 증가시킬 수 있는 새로운 방법 중 하나로 제안할 수 있고 이러한 방법이 염료감응형 태양전지의 효율 상승에 기여하기를 기대한다.

후기

본 연구는 한국과학재단 기초과학연구사업기금 (No. R01-2004-000-10318-0)에 의한 염료감응형 태양전지 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Franc Smole, Marko Topic, JoZe Furlan, "Analysis of TCO/p(a-Si:C:H) heterojunction and its influence on p-i-n a-Si:H solar cell performance", Journal of Non-Crystalline Solids 194, 312-318, 1996
- [2] B. O'Regan, M. Grätzel, Optical electrochemistry steady-state spectroscopy of conduction band electrons in a metal oxide semiconductor electrode, Chemical Physics Letters, Volume 183, Issues 1-2, 89-93, 1991
- [3] E. Ahmed, A. Zegadi, A.E. Hill, R.D. Pilkington, R.D. Tomlinson, A.A. Dost, W. Ahmed, S. Lepphuvi, J. Levoska, O. Kusmartseva, "Impact of annealing processes on the properties of CuIn_{0.75}Ga_{0.25}Se₂ thin films", Solar Energy Materials and Solar Cells 36, 227-239, 1995
- [4] P.K. Singh, Ravi Kumar, P.N. Vinod, B.C. Chakravarty, S.N. Singh, "Effect of spatial variation of incident radiation on spectral response of a large area silicon solar cell and the cell parameters determined from it", Solar Energy Materials & Solar Cells 80, 21-31, 2003
- [5] H. Tributsch, "Dye sensitization solar cells: a critical assessment of the learning curve", Coordination Chemistry Reviews 248, 1511-1530, 2004
- [6] C. He, X.Z. Li, N. Graham, Y. Wang, "Preparation of TiO₂/ITO and TiO₂/Ti photoelectrodes by magnetron sputtering for photocatalytic application", Applied Catalysis A: General 305, 54-63, 2006
- [7] Xiaoming Fang, Tingli Ma, Guoqing Guan, Morito Akiyama, Tetsuya Kida, Eiichi Abe, "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 570, 257-263, 2004