

염료감응형 태양전지의 상대전극 경사코팅을 통한 효율 개선 연구

*이 경준¹⁾, 서 현웅²⁾, 손 민규, 홍 지태, **김 희제³⁾

The effect incident angle of the Pt film on a counter electrode for dye-sensitized solar cells

*Kyoung-Jun Lee, Hyunwoong Seo, Min-Kyu Son, Jitae-Hong, **Hee-Je Kim

Key words : Pt Counter electrode(백금 상대전극), Sputtering incident angle(경사 코팅), Dye-sensitized solar cell(염료감응형 태양전지)

Abstract : Sputter deposition on a Pt counter electrode was studied using RF plasma as the improvement of conversion efficiency for dye-sensitized solar cells (DSC). The effects of the sputtering thickness and incident angle on a Pt counter electrode for DSC was scrutinized. We conducted the experiment to get the optimal sputtering time for the performance of the DSC. Under the sputtering time condition of 120 seconds, we varied the incident angles of substrate from 0° to 60°. Under standard test condition (AM 1.5, 100mW/cm²), we obtained the maximum efficiency of 4.61% at the incident angle of 40° with an active cell area of 1cm².

1. 서 론

태양광 에너지의 주류를 이루고 있는 실리콘 태양전지는 현재 발전 단가 한계에 다다르고 있다. 이런 점에서 그래첼(Graetzel)연구팀이 개발한 염료감응형 태양전지(Dye-sensitized solar cell:DSC)는 낮은 제조단가, 간단한 제작 공정 등의 장점을 가지고 있어 차세대 태양 전지로 주목을 받고 있다.^{1,2)} 나노 결정 염료감응형 태양전지에서 빛은 다공성 산화티타늄층에 결합되어있는 단분자층의 염료에 흡수된다. 산화티타늄은 전도성 투명 유리 기판(transparent conducting oxide : TCO)에 흡착되어있다. 빛을 받은 염료는 여기하여 발생된 전자를 TiO₂ 전도대로 보낸다. 전자는 전도성 유리 기판을 통하여 수집되어 외부 부하로 이동하여 전기에너지를 공급한다. 여기 되었던 염료는 전자 공여 매개체인 전해질로부터 전자를 공급받아 기저 상태로 다시 돌아가게 된다.^{2,3)} 이 때 사용되는 전해질은 iodide(I⁻) /triiodide(I₃⁻) 쌍으로써 산화환원 작용을 하는 역할을 담당한다. 즉, I₃⁻이온은 외부 회로로부터 들어오는 전자와 결합하여 I⁻이온으로 바뀌고, I⁻이온은 다시 여기되었던 염료에 전자를 공급하고 I₃⁻이온으로 바뀐다. 전체적으로 이러한 과정이 태양광이 조사되는 상태에서 반복되면서 전기를 발전한다.⁴⁾

TCO에서 iodide(I⁻) /triiodide(I₃⁻) 쌍의 산화환

원 반응이 빨리 일어나게 하기 위해서 촉매 역할을 하는 Pt 코팅이 필수적이다. Pt 코팅의 두께가 DSC셀 효율에 미치는 영향에 대한 연구는 보고된 적이 있으나, 경사 코팅에 의한 영향은 알려지지 않았다.

본 연구에서 최적 스퍼터링 시간을 고정한 후, 경사 코팅 각도를 변화시켜가면서 Pt를 증착하고 DSC셀의 효율에 미치는 영향에 대해 알아본다.

2. 실험 방법

2.1 광전극의 제작

다공성 나노 결정의 TiO₂ 입자를 Doctor Blading 방법을 사용하여 FTO(fluorine doped SnO₂: 9.3Ω/cm²)에 바르고, 450°C에서 30분 동안 소성한다. 100°C이하로 자연 냉각시킨 후, 염료를 흡착시키기 위해서 염료(Ruthenium 535 bis-TBA (N719, cis-bis (isothiocyanato) bis (2,2' - bipyridyl

- 1) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : kyoungjun@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
- 2) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : woong_1980@pusan.ac.kr
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

-4,4'-dicarboxylato)-ruthenium(II) bis-tetrabutyl-ammonium)에 상온(25°C)에서 24시간동안 침지 시켰다. 단분자층의 염료를 이루기 위해서 무수에탄올에 30분 동안 침지시킨 후 꺼내어 건조시키면 광전극 제작은 완료된다.

2.2 상대전극의 제작

먼저 DSC셀 접합시 필요한 전해질 주입 구멍을 샌드 블라스터를 이용하여 만들어 놓는다. 상대전극은 FTO 전도성 유리 기판위에 RF 마그네트론 스퍼터링 방식으로 Pt를 증착시켰다. 챔버 내부 직경은 300mm 이고, 600W(13.56MHz)의 RF Power가 직경 100mm인 Pt target에 가해졌다. 증착 과정 중 발생하는 열을 냉각시키기 위해 수냉식 냉각 시스템을 사용 하였다. 먼저 챔버 내부의 압력을 2×10^{-6} torr 또는 그 이하까지 낮추었다. 경사 코팅 실험을 하기에 앞서 증착 시간에 따른 DSC셀 효율 분석 실험을 한 후, 증착 시간을 고정하였다. Target과 기판 사이의 거리는 70mm 이다. 경사 코팅 실험의 개략도는 그림 1과 같다.

경사각도(α)는 0°에서 60°까지 20° 간격으로 증가 시키면서 실험을 진행하였다.

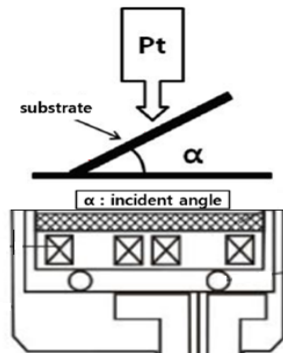


Fig. 1 Deposition geometry using RF Sputtering System

2.3 염료감응형 태양전지의 제작

완성된 광전극과 상대전극사이에 Hot-melt sealing sheet (Thickness=60 μ m)를 사용하여 5초간 110°C의 열과 압력을 가하여 접합한다. 상대전극의 Pin-hole를 통해 전해질(AN-50)을 주입한 후, 슬라이드 글라스로 실링한다. 외부 전극을 Cerasolzer로 솔더링하여 염료감응형 태양전지의 제작을 완료한다. 완성된 셀은 솔라 시뮬레이터 (AM 1.5 Global, 100mW/cm², and 25°C)로 효율을 측정하였다.

3. 결과 및 검토

경사 코팅 실험을 하기 전에 스퍼터링 시간을 얻기 위해 Pt 두께에 따른 영향을 알아보았다. Pt 두께가 두꺼워 질수록 표면 저항(Ω /cm²)은 감소하고 빛의 반사도는 증가할 것을 예상할 수 있었

다.⁵⁾ Pt층의 두께는 Pt가 스퍼터링되는 속도를 계산하여 추정하였다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 스퍼터링 시간이 증가할수록 100초까지는 증가하는 경향을 보인다. 하지만 그 이후로는 다소 감소하였다. 내부 저항의 변화로 인한 효율 감소를 나타낸다고 볼 수 있다. 두께 실험으로부터 Pt층의 두께가 100nm일 때 가장 좋은 효율을 나타냄을 알 수 있었다.

Table 1 Device performance parameters of DSC with Pt films of different thickness

Time (s)	Pt film thickness (nm)	Voc (V)	Jsc(mA /cm ²)	FF	η (%)
0	0	0.51	1.44	0.05	0.05
30	25	0.82	8.38	0.58	3.99
60	50	0.81	7.65	0.61	3.78
90	75	0.78	9.08	0.58	4.15
120	100	0.79	8.79	0.62	4.31
150	125	0.80	7.98	0.60	3.88

Pt 경사 코팅 실험을 하기 위해서 일단 스퍼터링 시간을 120초로 고정하였다. FTO에 Pt를 경사 코팅할 경우 Pt층이 경사질 것으로 예상하였다. 경사각도 0°에서 스퍼터링을 할 경우 Target과 기판사이의 거리가 전체적으로 일정하다. 따라서 균일한 표면 저항을 가지게 된다. 경사 각도가 증가할수록 Target과 기판사이의 거리 차이가 커져서 전체적으로 표면저항의 그라데이션이 생긴다. DSC셀에 외부의 전계는 가해지지 않으며, 확산을 통해 전자가 이동을 한다. 확산 측면에서 볼 때, Pt층이 균일한 표면 저항을 가지는 것 보다 불균일한 표면 저항을 가지는 것이 유리하다고 할 수 있다. 1855년 Fick에 의해 정립된 전송 메카니즘을 보면, 유속은 표면의 그라데이션에 비례해서 증가한다.

$$J = -D(\partial C(x,t)/\partial x) \quad (1)$$

식 (1)에서 J는 유속, D는 확산 계수, $\partial C(x,t)/\partial x$ 는 그라데이션 집중도를 나타낸다. 게다가 경사각도가 증가할수록 표면적이 증가하여 전해질과 Pt층의 계면이 넓어져 활발한 산화 환원 반응을 기대할 수 있다. 표 2를 보면 경사 각도가 40°일 때 4.61%의 가장 좋은 효율을 보이고 있다. 그림 2는 40°의 Pt 경사 코팅을 하여 얻은 상대전극의 사진이다.



Fig. 2 Pt sputtered FTO with the incident angle of 40°

Table 2 Device performance parameters of DSC with Pt films sputtered at different target substrate angles

Sputtering angle (degree)	Voc(V)	Jsc (mA/cm ²)	FF	η (%)
0	0.77	8.76	0.61	4.19
20	0.77	9.02	0.60	4.20
40	0.79	9.98	0.58	4.61
60	0.79	8.62	0.57	3.94

전류 밀도(mA/cm²)는 40°까지 증가하는 경향을 보이며, Fill Factor(FF)는 경사 각도가 증가함에 따라 감소하고 있다. 개방 전압(Voc)가 거의 일정한 상태에서 전류 밀도의 증가와 내부저항의 변화에 따른 결과이다. 그림 3은 상대전극의 경사 코팅 각도에 따른 출력특성을 나타내는 I-V Curve이다.

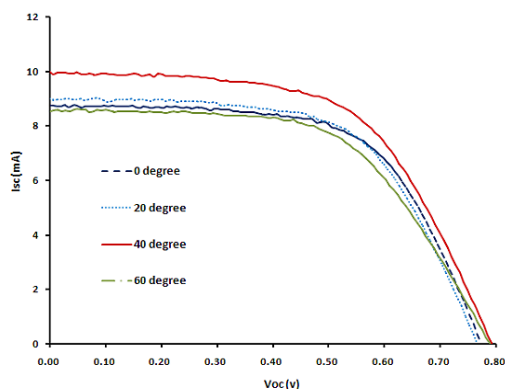


Fig. 3 I-V curves of DSC with Pt sputtered at different substrate angle

4. 결론

본 연구에서는 염료감응형 태양전지의 상대전극 Pt 코팅 방법에 따른 특성을 다루었다. 먼저 Pt 스퍼터링 시간에 따른 실험을 하여 100nm의 두께에서 4.31%의 효율을 얻었다. 이때의 스퍼터링 시간 120초를 선택하여 경사 코팅 실험을 하였다. 불균일한 표면 저항 분포를 얻어 확산에 유리하도록 하여 전류밀도의 상승을 기대하였다. 경사 각도가 40°일 때 전류밀도는 9.98 mA/cm², 효율은 4.61%로 가장 좋은 셀 특성을 나타내었다.

후기

본 연구는 기초연구지원기초과학-단독연구(과제번호 : D00283) 염료감응형 태양전지 연구의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] B.O' Regan and M.Graetzel, 1991, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films", Nature, Vol.353, pp737
- [2] M.Graetzel, 2000, "Perspectives for Dye-sensitized nanocrystalline solar cells", Prog. Photovolt. Res. Appl., Vol.8, pp171
- [3] B. K. Koo, D. Y. Lee, H. J. Kim, W. J. Lee, and J. S.Song, 2004, "Dye-sensitized solar cells with mesoporous TiO₂ film. manufactured by spin coating method", J. of KIEEME, Vol. 17, No. 9, pp.1001
- [4] A.Hagfeldt, M.Graetzel, 1995," Light induced redox reactions in nanocrystalline systems", Chem. Rev. Vol.95, pp 49-68
- [5] X.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 Vol.570, pp257-263