

TiO₂ 두께에 따른 염료감응형 태양전지의 효율 변화

김대현, 박미주, 이성욱, 최원석*, 홍병유**

성균관대학교 정보통신공학부, 한밭대학교*, 플라즈마응용 표면기술 연구센터**

The Effect of TiO₂ Thickness on the Performance of Dye-Sensitized Solar Cells

Dae-Hyun Kim, Mi-Ju Park, Sung-Uk Lee, Won-Seok Choi*, Byungyou Hong**

School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

Hanbat national University*

Center for Advanced Plasma Surface Technology (CAPST), Sungkyunkwan University**

Abstract : Dye-sensitized solar cell using conversion of solar energy to electrical energy appeared that which solves a environmental matter. The dye-sensitized solar cell uses nano-crystalline oxide semiconductor for absorbing dye. The TiO₂ is used most plentifully. The efficiency of the dye-sensitized solar cell changes consequently in the particle size, morphology, crystallization and surface state of the TiO₂. In this paper, we report The effect of titania (TiO₂) thickness on the performance of dye-sensitized solar cells. Using doctor blade method, It produced the thickness of the TiO₂ with 7 μm, 10 μm, 13 μm. The efficiency was the best from 10 μm. It had relatively low efficiency on the thickness from 7 μm to 13 μm. The reason why it presents low efficiency on 7 μm thickness is that excited electrons can not be delivered enough due to thin thickness of 7 μm TiO₂. And The reason why it presents low efficiency on 13 μm thickness is that thick 13 μm TiO₂ can not penetrate the sunlight enough.

Key Words : TiO₂, Thickness, Dye-Sensitized Solar Cell

1. 서 론

구성 물질에 따라 유기 태양전지, 셀 구조에 따라 반도체/액체 광전기화학형에 속하는 염료감응형 태양전지는 기존에 사용되어오던 태양전지에 비해 발전효율이 높고, 제조 단가가 낮아 최근에 많은 연구가 이루어지고 있다 [1]. DSSC의 기본원리는 염료가 태양광을 흡수하고, 여기된 염료가 전자를 TiO₂로 전달하며, 이 전자는 외부회로를 통해 전기에너지를 전달하는 것이다. 이 때, 전자는 상대전극으로 이동하여 전해질의 산화 환원 반응을 통해 다시 염료로 보내져 이온적인 전자의 손실은 없다. DSSC의 구조에 대해 살펴보면 크게, FTO 전극, TiO₂, 염료로 구성되는 working electrode, 가운데의 전해질, PtCl₄로 구성되는 counter electrode의 세 부분으로 구성된다[1].

여기서 working electrode에 위치한 TiO₂의 역할은 염료를 흡수하여 염료가 기판위에 잘 흡착되도록 하고, 전자를 염료에서 기판으로 원활하게 넘겨주는 데 있다. 여기에 사용되는 나노결정구조 산화물 반도체로는 SnO₂, ZnO 등 여러 가지가 있지만, bandgap energy를 고려했을 때 TiO₂가 가장 효율이 높아 많이 사용된다. 나노결정구조를 가지는 산화물 반도체의 입자크기, 형상, 결정성, 표면상태 등을 조절하는 기술은 현재 DSSC에서 중요한 연구테마 중 하나이다.

따라서 본 연구에서는 TiO₂의 두께에 따른 DSSC의 효율의 변화에 대해 살펴보았으며, 가장 높은 효율을 얻을 수 있는 조건에 대해 연구하였다.

2. 실험

실험은 TiO₂의 두께가 7 μm, 10 μm, 13 μm 인 경우에 대해서 각각 태양전지를 만들어 효율을 측정하는 방식으로 진행하였다. 이 때 TiO₂의 두께 조절은 doctor blade법을 사용하여 조절하였다[2]. Nanocrystalline TiO₂ paste (Solaronix, particle size ~ 16 nm)를 사용하여 동일하게 유지시켰으며, PtCl₄ (5 mM hexachloroplatinic acid (Fluka) in isopropyl alcohol (IPA))의 두께는 100nm로 동일하게 유지시켰다.

그림1은 DSSC의 제작과정을 나타내며, 다음 순서로 진행한다. 우선 working electrode와 counter electrode에 사용하는 FTO glass (FTO, Pilkington TEC Glass™, sheet resistance 8 Ω/square, transmittance 77% in the visible range)를 2 cm × 2 cm에 맞게 cutting 하고 counter electrode에는 electrolyte (Solaronix, AN-50)를 주입할 hole을 알맞은 위치에 만들어 준다. 다음 준비된 기판들을 acetone, methanol, DI water의 순서대로 용액에 기판을 담아 sonicator에서 cleaning 해준다. 그 후, working electrode에는 TiO₂를, counter electrode에는 PtCl₄를 sintering 하게 된다. PtCl₄는 100 nm, TiO₂는 앞에서 언급한 조건대로 각각 제작되는데, 기판들을 100℃ hot plate 위에서 10분 동안 가열해주고, 열풍기에 의해 sintering 과정을 거친다. 이 때 sintering 과정은 100℃에서 시작하여 10분당 100℃ 승온, 450℃에서 40분 열처리한 후 다시 10분당 100℃ 강온 처리 하였다. sintering을 마친 working electrode는 필요한 5 mm × 5 mm만 남기고 나머지 TiO₂는 제거해준다. 원활

한 염료 흡착을 위해 다시 기판들을 100°C hot plate 위에서 10분 동안 가열해주고, 염료에 담근 후 24시간 후에 꺼내어 ethanol(containing 0.3 mM [RuL₂(NCS)₂]·2H₂O)로 cleaning 해준다. 그 후, 60 μm thick Surlyn (Solaronix, SX 1170 Hot Melt)를 이용하여 기판을 합착시켜 주고, 전해질을 주입한 후 cover glass로 hole을 sealing하면 cell 제작이 마무리 된다. 각각의 경우에 대해 제작된 cell 들을 solar simulator (300 W Xe lamp (ILC technology Inc.)를 이용하여 I-V 곡선을 측정하였으며, 세 경우에 대해 current density, voltage, FF(Fill Factor), 효율을 비교해 보았다.

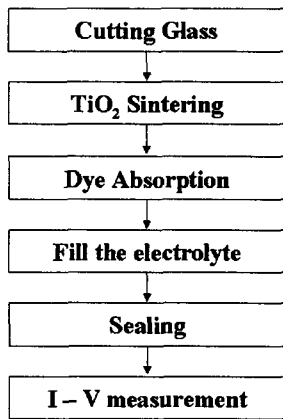


그림1. DSSC의 제작 과정

3. 결과 및 검토

그림 2는 각각의 경우에 대해 제작한 cell 들을 solar simulator 통해 측정한 I - V 곡선을 나타낸 것이다. 표1에서 확인할 수 있듯이 많은 전류가 흐르는 cell, 즉 통과하는 전자의 양이 많은 cell의 효율이 좋다고 볼 수 있으므로, 10 μm 에서 cell의 효율특성이 가장 좋게 나타나며 13 μm, 7 μm 순서로 효율이 좋음을 알 수 있다.

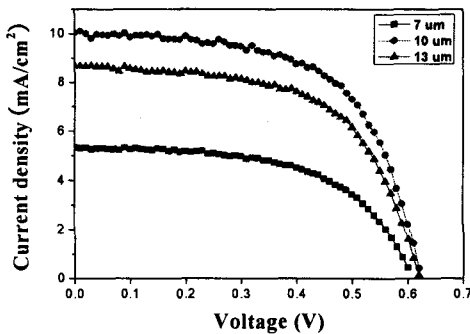


그림2. TiO₂ 두께에 따른 V-I 곡선.

입자의 크기를 동일하게 유지시켰을 때, TiO₂의 두께가 얇아졌을 경우 TiO₂의 입자가 적어지고 이에 따라 TiO₂에 흡착되는 염료의 양 또한 줄어들게 된다. 염료의 양이 적

으면 흡수되는 태양광의 양이 줄어들게 되고, 여기된 전자의 양 또한 줄어들기 때문에 효율이 낮아지게 된다. 반대로 TiO₂의 두께가 두꺼워졌을 경우, 염료감응형 태양 전지 구조에서, working electrode위에 TiO₂가 입혀지게 되는데, 두께가 두꺼워지면 염료에서 받은 전자를 전극으로 이동시키면서 재결합이나 Trapping의 영향으로 전자의 손실이 많아져 전자의 양이 줄어들게 된다[3]. 즉, cell의 효율이 낮아지는 결과를 얻게 된다.

표1. TiO₂ thickness에 따른 여러 가지 특성

TiO ₂ thickness	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	Efficiency (%)
7 μm	0.60	5.33	58	1.86
10 μm	0.62	10.13	60	3.75
13 μm	0.62	8.69	59	3.2

결과적으로 7 μm, 10 μm, 13 μm 의 세 경우에 대하여 얻어진 효율을 비교했을 때, 10 μm 의 두께를 사용한 cell 의 경우 태양광을 많이 흡수하면서 전자의 손실을 가장 줄일 수 있는 최적의 조건임을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 TiO₂의 두께를 변화하여 염료감응형 태양전지의 효율 변화에 대하여 각각의 경우에 대한 cell을 만들어 측정하였다. I - V 곡선을 통해 효율을 측정한 결과, 10 μm 두께에 대한 표본을 만들었을 때 가장 효율이 좋았으며, 7 μm 에서 효율이 낮아졌으며, 13 μm 에서 역시 낮은 효율을 나타내었다. 즉, 7 μm의 TiO₂에서는 충분한 염료를 흡수하지 못하여 광전자를 흡수할 수 있는 표면적이 줄어들어 전극으로 충분한 전자가 전달되지 못하기 때문이며, 13 μm의 TiO₂에서는 TiO₂전극의 두께가 두꺼워짐에 따라 전자의 재결합과 Trapping이 증가하여 전도성 전극으로 이동하는 전자의 양이 줄어들기 때문이다. 추후 염료감응형 태양전지 제작 시 좋은 효율을 얻기 위해서는 TiO₂ 두께를 10 μm 로 제작하는 것이 바람직하다.

참고 문헌

- [1] D. Menzies, Q. Dai, Y-B. Cheng, G.P. Simon, L. Spiccia, Materials Forum Volume 29, p.323-326, 2005
- [2] W. Chen, X. Sun, Q. Cai, D. Weng, H. Li, Electrochemistry Communications, vol.9, pp.382-385, 2007
- [3] S. M. Waita, B. O. Aduda, J. M. Mwabora, C .G. Granqvist, S. E. Lindquist, G. Niklasson, A. Hagfeldt, G. Boschloo, Journal of Electroanalytical Chemistry, vol.605, pp. 151 - 156, 2007