

페로브스카이트형태양빛전지효율에 미치는 탄소파스타조성의 영향

고성국, 김별, 류권일, 심혁

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《자연에너지리용과 관련한 연구사업을 앞을 멀리 내다보면서 꾸준하고 진지하게 진행하여야 합니다.》

페로브스카이트형태양빛전지는 색소증감형태양빛전지의 효율을 높이기 위한 연구과정에 새롭게 출현하였는데 그 제작원가가 낮고 제작기술공정이 간단한것으로 하여 최근에 대한 연구[3, 5]가 광범히 진행되고있다.

대규모의 페로브스카이트형태양빛전지제작공정을 확립하자면 그 자원이 풍부하고 값싼 탄소대극을 리용한 페로브스카이트형태양빛전지를 개발하는것이 중요하다. 탄소대극제조에 리용되는 탄소원으로는 흑연과 탄소흑, 탄소나노관, 그라펜 등 여러가지가 있다. 탄소대극제조에 리용하는 탄소원은 연구자들마다 차이나며 그 제조조건도 차이난다.

우리는 우리 나라에 흔한 흑연과 탄소흑(그을음)을 리용하여 페로브스카이트형태양빛전지의 대극을 제조하는데서 태양빛전지효율을 높일수 있는 탄소파스타조성을 밝히기 위한 연구를 하였다.

재료와 방법

실험에 리용한 흑연, 탄소흑(20nm), ZrO_2 나노분말(20nm), 에틸설파유소, 아세틸아세톤, 초산, 트리톤 X-100, PbI_2 , 이소프로필알콜, 디메틸포름아미드, 요드화메틸아민은 모두 분석순이다.

탄소파스타와 기관은 선행연구방법[2]에 따라 제조하였다.

태양빛전지기판에 페로브스카이트를 입히는데는 2단계법[4]을 적용하였다.

빛전류전압곡선은 빛전류측정장치(《Keithley Digital Source Meter》)와 300W 태양모의 등(《Newport Oriel》)을 리용하여 측정한 값에 따라 작성하였다.

매 인자가 태양빛전지효율에 미치는 영향은 단인자법으로 검토하였으며 이때 나머지 조건들은 실험에서 밝힌 최적조건으로 하였다.

결과 및 논의

1) 흑연립자크기의 영향

먼저 탄소파스타특성에 미치는 흑연립자크기의 영향을 검토하였다. 흑연립자크기에 따르는 태양빛전지의 빛전기적특성은 표 1과 같다.

표 1에서 보는바와 같이 흑연립자의 크기가 커짐에 따라 열린회로전압과 닫힌회로전류세기, 충전인자가 모두 증가하면서 효율이 높아졌으며 크기가 $10\mu m$ 인 때부터는 포화되였다.

표 1. 흑연립자크기에 따른 태양빛전지의 빛전기적특성

특성량	흑연 크기/ μm			
	1	5	10	15
열린회로전압/mV	850 \pm 54	900 \pm 45	970 \pm 45	956 \pm 50
닫긴회로전류세기/mA	9.2 \pm 1.8	10.5 \pm 2.3	13.4 \pm 2.3	12.9 \pm 2.1
충만인자	0.55 \pm 0.12	0.60 \pm 0.12	0.65 \pm 0.10	0.64 \pm 0.15
효율/%	4.1 \pm 1.2	5.6 \pm 1.2	8.4 \pm 1.2	7.9 \pm 1.3

흑연립자크기가 커짐에 따라 태양빛전지의 빛전기적특성량들이 증가되는것은 흑연립자크기가 커짐에 따라 탄소대극의 전도성이 높아지는것[2]과 관련된다고 볼수 있다. 이것을 확인하기 위하여 우리는 전도성유리기판우에 5mm의 폭으로 분리선을 낸 다음 각이한 크기의 흑연립자크기로 만든 탄소파스타로 분리선을 연결하고 그 저항을 측정하여 비교하였다.(그림)

그림에서 보는바와 같이 흑연립자의 크기가 커질수록 탄소대극의 저항은 작아졌으며 그 값은 10 μm 의 크기에서 거의 포화되었다.

흑연립자의 크기가 클수록 탄소파스타의 성능이 높아지는것은 탄소파스타의 전도성이 높아지는것과 관련된다고 볼수 있다.

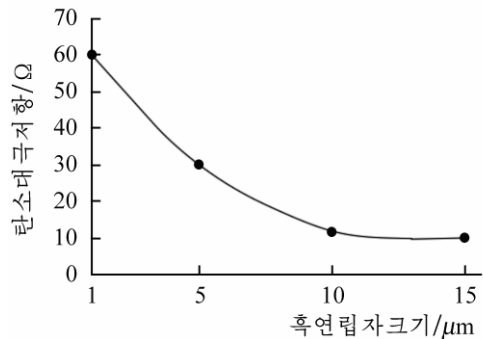


그림. 흑연립자크기에 따른 탄소대극저항변화

2) 흑연/탄소흑비의 영향

다음으로 탄소파스타조성에 들어가는 탄소성분인 흑연과 탄소흑사이의 비가 탄소파스타의 특성에 미치는 영향을 검토하였다. 10 μm 크기의 흑연과 탄소흑사이의 비에 따른 태양빛전지의 빛전기적특성은 표 2와 같다.

표 2. 흑연과 탄소흑사이의 비에 따른 태양빛전지의 빛전기적특성

특성량	흑연/탄소흑비			
	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1
열린회로전압/mV	920 \pm 50	950 \pm 45	970 \pm 45	972 \pm 50
닫긴회로전류세기/mA	11.2 \pm 2.0	12.4 \pm 2.1	13.4 \pm 2.3	13.1 \pm 2.2
충만인자	0.60 \pm 0.13	0.60 \pm 0.12	0.65 \pm 0.10	0.63 \pm 0.11
효율/%	6.2 \pm 1.3	7.1 \pm 1.3	8.4 \pm 1.2	8.0 \pm 1.3

표 2에서 보는바와 같이 흑연/탄소흑비가 커질수록 태양빛전지의 열린회로전압과 닫긴회로전류세기, 충만인자가 증가하면서 효율이 높아졌으며 그 비가 4 : 1일 때에는 약간 감소하였다.

나노크기의 탄소흑은 마이크로크기의 흑연알갱이들사이의 공간을 메꾸어 흑연알갱이들사이의 접촉을 좋게 하는 작용을 한다. 그러나 그 함량이 지나치게 많으면 흑연알갱이들사이의 접촉이 불균일해지게 된다.[1]

우리의 실험에서도 이러한 경향성이 나타났으며 그 최적비는 3 : 1로서 4 : 1이라고 한 선행연구자료[1]와 약간한 차이가 있었다. 그것은 우리가 리용한 흑연립자의 크기와 흑연종이 서로 다르기때문이라고 볼수 있다.

3) ZrO_2 나노립자함량의 영향

ZrO_2 함량에 따르는 탄소파스타의 빛전기적특성을 표 3에 보여주었다.

표 3. ZrO_2 함량에 따르는 탄소파스타의 빛전기적특성

특성량	ZrO_2 함량/g		
	1	0.5	0
열린회로전압/mV	940±45	970±45	945±50
닫긴회로전류세기/mA	12.5±2.2	13.4±2.3	13.1±2.5
충만인자	0.62±0.11	0.65±0.10	0.64±0.15
효율/%	7.3±1.3	8.4±1.2	7.9±1.5

표 3에서 보는바와 같이 ZrO_2 을 0.5g 첨가하였을 때 탄소파스타의 빛전기적특성이 가장 좋았으며 ZrO_2 을 전혀 첨가하지 않거나 1g 첨가하였을 때에는 그 특성이 나빠졌다. 특히 ZrO_2 을 1g 첨가하였을 때 첨가하지 않았을 때보다 탄소파스타의 특성이 더 크게 나빠졌는데 이것은 ZrO_2 의 첨가로 하여 탄소파스타의 전도성이 떨어졌기때문이라고 볼수 있다. 그리고 ZrO_2 을 전혀 첨가하지 않았을 때에는 색소입히는 과정에 CH_3NH_3I 의 이소프로필알콜용액에 잠글 때 탄소대극이 유리기판과 분리되는 현상이 관측되는것으로 보아 ZrO_2 이 없을 때 효율이 떨어지는것은 탄소대극과 FTO유리사이의 접착성이 나쁜것과 관련된다고 볼수 있다.

4) 첨가제의 영향

첨가제종류에 따르는 탄소파스타특성변화 첨가제는 흑연분말들이 테르페놀에 잘 분산되도록 하는 작용을 하며 또한 유리판우에 탄소파스타가 고르게 입혀지게 하는 작용을 한다. 첨가제종류(아세틸아세톤, 트리톤 X-100, 초산)에 따르는 탄소파스타의 빛전기적특성은 표 4와 같다.

표 4. 첨가제종류에 따르는 탄소파스타의 빛전기적특성

특성량	첨가제 종류		
	아세틸아세톤	트리톤 X-100	초산
열린회로전압/mV	970±45	950±45	960±50
닫긴회로전류세기/mA	13.4±2.3	12.5±2.2	13.3±2.6
충만인자	0.65±0.10	0.62±0.11	0.64±0.15
효율/%	8.4±1.2	7.4±1.2	8.1±1.4

표 4에서 보는바와 같이 첨가제가운데서 아세틸아세톤이 제일 좋았으며 그다음으로 초산, 트리톤 X-100의 차례로 효과가 떨어졌다. 탄소파스타조성으로 들어가는 첨가제들은 연구자들에 따라 각이하며 이것들을 종합적으로 검토한 자료는 아직 보고된것이 없다. 첨가제로 아세틸아세톤과 트리톤 X-100, 초산을 리용하였을 때 거시적으로 차이나는것은 아세틸아세톤을 첨가하였을 때 유리우에 입힌 탄소파스타막이 제일 균일하고 매끈하였으며 그다음으로는 트리톤 X-100, 초산의 순서였다. 그러나 빛전지효율은 이러한 관찰결과와 일치하지 않았다. 우리의 실험결과에 의하면 빛전지의 효율은 초산의 경우가 트리톤 X-100의 경우보다 더 높은것으로 나타났다. 이로부터 초산과 탄소사이에 그 어떤 보충적인 작용이 존재한다고 볼수 있다.

아세틸아세톤농도에 따르는 탄소파스타특성변화 첨가제로서 아세틸아세톤을 리용하였을 때

태양빛전지효율이 제일 높았기때문에 우리는 아세틸아세톤농도를 최적화하기 위한 실험을 하였다. 아세틸아세톤농도에 따르는 탄소파스타의 빛전기적특성은 표 5와 같다.

표 5. 아세틸아세톤농도에 따르는 탄소파스타의 빛전기적특성

특성량	첨가량/ μ L			
	0	30	60	90
열린회로전압/mV	900 \pm 55	960 \pm 45	970 \pm 45	970 \pm 50
닫긴회로전류세기/mA	10.2 \pm 2.6	13.2 \pm 2.2	13.4 \pm 2.3	13.2 \pm 2.1
충만인자	0.50 \pm 0.14	0.62 \pm 0.11	0.65 \pm 0.10	0.66 \pm 0.11
효율/%	4.6 \pm 1.2	7.8 \pm 1.2	8.4 \pm 1.2	8.4 \pm 1.3

표 5에서 보는바와 같이 아세틸아세톤의 첨가량이 증가함에 따라 탄소파스타의 빛전기적특성은 높아졌으며 60 μ L의 첨가량에서 효율값이 포화되었다.

맺는 말

탄소파스타의 조성은 탄소대극을 리용한 페로브스카이트형태양빛전지의 효율에 큰 영향을 미친다. 우리는 탄소파스타의 최적조성이 10 μ m 흑연/탄소흑비 3 : 1, ZrO₂함량 0.5g(총탄소량이 4g일 때), 아세틸아세톤첨가량 60 μ L(테르펜량 20mL일 때)라는것을 밝혔다.

참고 문헌

- [1] Heng Wang et al.; RSC Adv., **5**, 30192, 2015.
- [2] Lijun Zhang et al.; J. Mater. Chem., **A 3**, 9165, 2015.
- [3] W. S. Yan et al.; Science, **348**, 1234, 2015.
- [4] Y. G. Rong et al.; J. Phys. Chem. Lett., **5**, 2160, 2014.
- [5] Xiong Li et al.; Science, **353**, 58, 2016.

주제106(2017)년 10월 5일 원고접수

Effect of Carbon Pasta Compositions on the Performances of Perovskite Solar Cells

Ko Song Guk, Kim Pyol, Ryu Kwon Il and Sim Hyok

We investigated the effect of carbon pasta compositions on the performance of perovskite solar cells. We confirmed that the optimal compositions of carbon pasta are 3 : 1 ratio between 10 μ m size of graphite and carbon black, 0.5g of ZrO₂(in case that 4g of total carbons are added), 60 μ L of acetyl acetone(in case that 20mL of terpineols are added).

Key words: carbon, counter electrode, perovskite, solar cell