

## 완전채인쇄가능한 태양빛전지제작용 페로브스카이트결정의 형성에 미치는 티오뇨소의 영향

차경진, 고성국, 류권일, 김별, 리진혁

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학연구부문에서는 에너르기문제해결에 힘을 집중하여야 합니다.》

태양에너지를 보다 적은 원가로 그리고 높은 효율로 개발리용하기 위한 연구가 광범히 진행되는 과정에 페로브스카이트형태양빛전지가 개발되어 많은 연구자들의 관심을 끌고있다. 특히 유기금속트리할로겐화물형태로브스카이트를 리용한 페로브스카이트형태양빛전지는 개발당시 효율이 3.8%[3]였으나 그로부터 몇년후에는 22.1%[4]를 돌파하였다.

전하재결합률을 줄이기 위해서는 페로브스카이트막의 결함을 줄이는것이 중요하다. 페로브스카이트막의 결함을 줄이기 위하여 리용되는 방법으로서는 용액공학법(solution engineering)[5, 6], 성분공학법(compositional engineering)[7], 첨가공학법(additive engineering)[8, 9, 11], 계면공학법(interfacial engineering)[10]이 있다. 전형적인 페로브스카이트형태양빛전지에 이러한 방법들을 적용하여 전지의 효율을 높인 연구자료들은 많이 제기되었지만 3층단기판탄소대극태양빛전지에서 제기된 자료는 그리 많지 못하다. 그것은 3층막우에 색소를 직접침적시키는것으로 하여 결정형성과정이 다른 형태의 전지들에 비하여 많은 제한을 받는 것과 관련된다. 최근 일부 연구자들은 분자가교제를 리용하여 페로브스카이트의 안정성과 빛전기변환효율을 높였다.[1, 2] 티오뇨소는 1개의 탄소원자에 2개의 아민기와 1개의 류황기가 결합된 물질로서 이 3개의 기능단은 모두 수소결합을 형성할수 있으며 또 금속원자(Pb)에 배위될수 있다. 그러므로 우리는 티오뇨소 역시 분자가교제로 작용하여 태양빛전지의 효율을 높일수 있다고 보았다.

우리는 티오뇨소를 페로브스카이트색소에 혼합하여 1단계법으로 3층막구조에 방울침적시켰을 때 태양빛전지효율에 미치는 영향을 검토하였다.

### 재료와 방법

#### 1) 시약

실험에는 요드화연(《SIGMA》), 염화연(《SIGMA》), 메틸아민(《SIGMA》), 요드화수소(《SIGMA》), DMF(《SIGMA》),  $TiCl_4$ (《SIGMA》)을 리용하였다.

#### 2) 전지제작방법

먼저 FTO유리에 탄산가스레이자로 분리선을 내고 세척제, 탈이온수, 에틸알콜을 리용하여 각각 15min씩 초음파세척을 진행하였다. 유리를 건조시킨 다음 접착테프로 치밀층을 형성하기 위한 부위만 남겨두고 가리우고 0.2mol/L  $TiCl_4$ 용액(온도 70°C)에서 60min동안 처리하였다. 다음 탈이온수로 유리를 깨끗이 세척하고 방안온도에서 건조시켰다. 메조다공

성  $\text{TiO}_2$  층은  $\text{TiO}_2$  파스타원액을 테르펜으로 3배 희석한것을 채인쇄방법으로 입혀 형성시켰다. 다음 이것을  $450^\circ\text{C}$ 에서 30min동안 소결하였다.  $\text{ZrO}_2$  파스타를 채인쇄하여  $\text{ZrO}_2$  층을 형성시킨 다음 그것을  $500^\circ\text{C}$ 에서 30min동안 소결하였다. 탄소(C)대극은 탄소파스타를 채인쇄한 다음  $400^\circ\text{C}$ 에서 30min동안 소결하여 형성시켰다. 요드화연 0.345g, 염화연 0.069g, 요드화메틸아민 0.159g을 1mL의 DMF용액에 풀고 여기에 티오노소를 각각 0, 5, 10, 15, 20mg을 풀어서 색소용액계렬을 만들었다. 제조한 색소용액을  $90^\circ\text{C}$ 에서  $2\mu\text{L}$  취하여 칼도포하는 방법으로 색소를 입혔다. 색소를 입힌 다음 전구체용액이 페로브스카이트로 완전히 넘어가도록 하기 위하여  $100^\circ\text{C}$ 에서 20min동안 열처리하였다.

### 3) 특성평가방법

UV 흡수스펙트르는 앞에서 제조한 페로브스카이트용액을 FTO유리우에 칼도포법으로 입히고 자외가시분광광도계(《DU 730》)로 측정하였다.

페로브스카이트막의 형태는 주사전자현미경(《JS-6610A》)으로 조사하였다. 시료는 FTO유리우에 치밀층과  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  막을 입히고 소결한 다음 그우에 색소를 칼도포하여 만들었다. 페로브스카이트막의 결정구조는 X선회절분석기(40mA, 40kV,  $\text{CuK}\alpha$ 선,  $\lambda = 1.54051\text{\AA}$ )를 리용하여 확인하였다. 전지의 전기화학적임피던스스펙트르는 전기화학측정장치(《CHI604E》)를 리용하여 주파수령역  $1 \sim 10^6\text{Hz}$ , 어둡조건, 0.8V의 편의전압에서 진행하였다. 빛전지의 전류세기-전압곡선은 AM 1.5의 빛복사조건에서 전기화학측정장치(《CHI604E》)를 리용하여 측정하였으며 측정활성면적은  $0.01\text{cm}^2$ 로 하였다. 빛발광은 형광분석기(《RF-5000》)로 측정하였다. 려기빛파장은 500nm로 하였다.

## 결과 및 론의

그림 1의 ㄱ)와 ㄴ)에 우리가 리용한 완전인쇄가능한 구멍전달물질이 없는 탄소대극단기관태양빛전지의 구조를 보여주었다. 치밀층은  $\text{TiCl}_4$ 에 의한 CBD방법에 기초하여 입혔다. 나머지층들은 채인쇄법으로 입혔다.(그림 1의 ㄴ)) 장치에서 매 층들의 에네르기수준을 그림 1의 ㄷ)에 보여주었다. 페로브스카이트의 전도띠로부터  $\text{TiO}_2$  전도띠에로 전자가 효과적으로 추출될수 있으며 페로브스카이트의 값전자띠로부터 탄소에로 구멍이 수집될수 있다. 이 전지에서 색소는 탄소층에 직접 침적되기때문에  $\text{TiO}_2$ /페로브스카이트사이의 접촉과 탄소/페로브스카이트사이의 접촉이 전지의 효율에 큰 영향을 미친다.

페로브스카이트막의 특성을 검토하기 위하여 FTO(혹은  $\text{FTO/c-TiO}_2$ ,  $\text{FTO/c-TiO}_2/\text{m-TiO}_2/\text{ZrO}_2$ )에 티오노소가 각이한 농도로 들어있는 페로브스카이트전구체용액을 칼도포한 다음  $100^\circ\text{C}$ 에서 20min동안 열처리하여 페로브스카이트막을 형성시켰다.

칼도포법으로 FTO유리우에 형성시킨 페로브스카이트막을 보면 누런색의 전구체용액은  $100^\circ\text{C}$ 에서 20min만에 모두 검은 밤색으로 변화되었다. 이것은 전구체용액이 페로브스카이트결정으로 완전히 전환되었다는것을 말해준다.

티오노소를 첨가하였을 때 막의 광학적특성이 어떻게 변화되는가를 UV 흡수스펙트르 분석으로 평가하였다.(그림 2) 시료들은 모두 FTO유리우에 전구체용액을 칼도포하여 준비하였다. 티오노소를 첨가하였을 때 흡수스펙트르는 크게 변화되었다. 티오노소를 첨가(5,

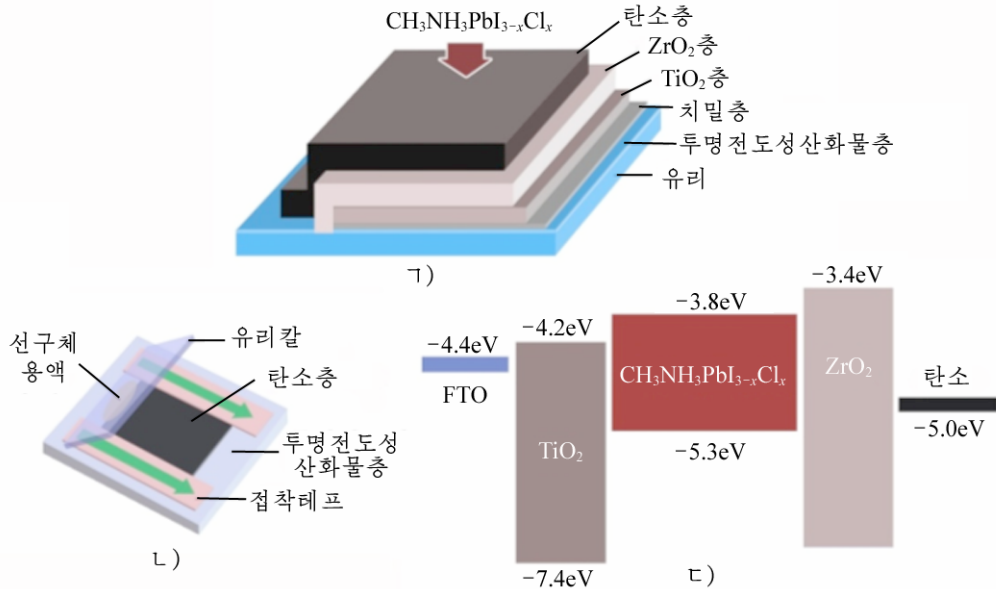


그림 1. 완전인쇄가능한 구멍전달물질이 없는 탄소대극단기판태양빛전지의 구조(㉠)와 페로브스카이트전구체용액의 침적방법(㉡), 장치의 에너지준위도해(㉢)

10mg)하였을 때 긴파장쪽에서의 흡광도는 대조보다 높아졌지만 짧은파장쪽에서는 낮아졌다. 그러나 티오뇨소를 15, 20mg 첨가하였을 때에는 짧은파장쪽에서는 대조와 같은 수준에 이르렀으며 긴파장쪽에서는 흡광도가 크게 높아졌다. 이것은 티오뇨소첨가에 의하여 막의 광학적특성이 크게 변화된다는것을 보여준다. 이러한 광학적특성의 변화는 첨가된 티오뇨소에 의하여 결정구조가 달라졌기때문일수도 있고 결정성장특성이 변화되었기때문일수도 있다.

티오뇨소첨가가 페로브스카이트의 광학적특성에 미치는 영향을 더 자세히 보기 위하여 XRD스펙트르분석을 진행하였다.(그림 3) 시료는 UV흡수스펙트르분석에서와 같은 방법으로 준비하였다.

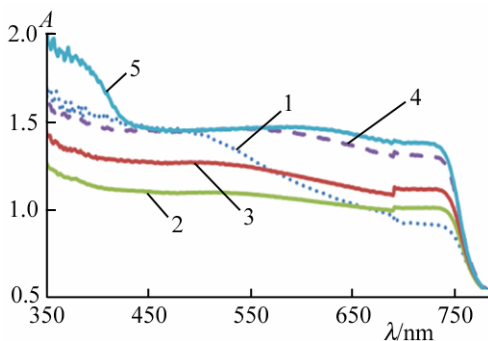


그림 2. 티오뇨소첨가량에 따르는 UV흡수스펙트르변화

1-5는 티오뇨소첨가량이 각각 0, 5, 10, 15, 20mg인 경우

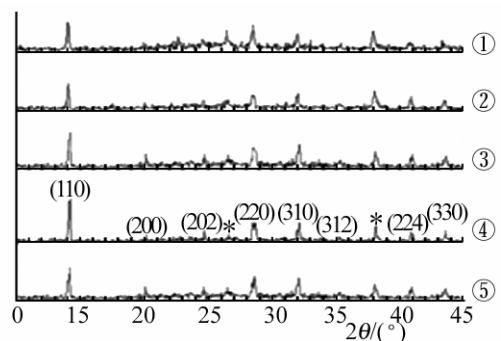


그림 3. 티오뇨소첨가량에 따르는 XRD스펙트르변화특성

①-⑤는 티오뇨소첨가량이 각각 0, 5, 10, 15, 20mg인 경우

모든 시료들에서 페로브스카이트의 특성 봉우리들인 14.12, 20.04, 24.52, 28.48, 31.88, 40.64, 43.24° 봉우리들이 나타났는데 이것은 정방정계의 페로브스카이트 결정상이 명백히 형성되었다는 것을 보여준다. 그러나 티오노소첨가량에 따라 봉우리높이는 크게 변화되었다. 티오노소를 5mg 첨가하였을 때에는 14.12° 봉우리가 크게 낮아졌다. 그리고 티오노소첨가량이 증가함에 따라 다시 14.12° 봉우리가 높아졌으며 잡봉우리들도 작아졌다. 이것은 전구체용액에 첨가된 티오노소가 페로브스카이트결정의 성분으로는 들어가지 않으며 단지 결정형성 과정에 영향을 미친다는 것을 보여준다. 한편 결정형성에 대하여 티오노소는 두가지 작용을 한다는 것을 말해준다. 즉 티오노소가 적은 양으로 첨가되었을 때에는 페로브스카이트의 결정형성을 지연시키고 일정한 첨가량 이상에서는 페로브스카이트결정형성을 촉진시킨다는 것을 보여준다. 이러한 XRD스펙트럼분석자료는 앞의 흡수스펙트럼자료와도 일치된다. 즉 티오노소첨가량이 10mg이하에서 대조보다 흡광도가 떨어지는 것은 첨가된 티오노소에 의하여 페로브스카이트결정형성이 지연되는 것과 관련되며 10mg이상의 첨가량에서 흡광도가 다시 높아지는 것은 결정형성이 촉진되는 것과 관련된다.

XRD스펙트럼에서 나타나는 페로브스카이트결정형성의 특징은 주사전자현미경상에서도 찾아볼 수 있다.(그림 4)

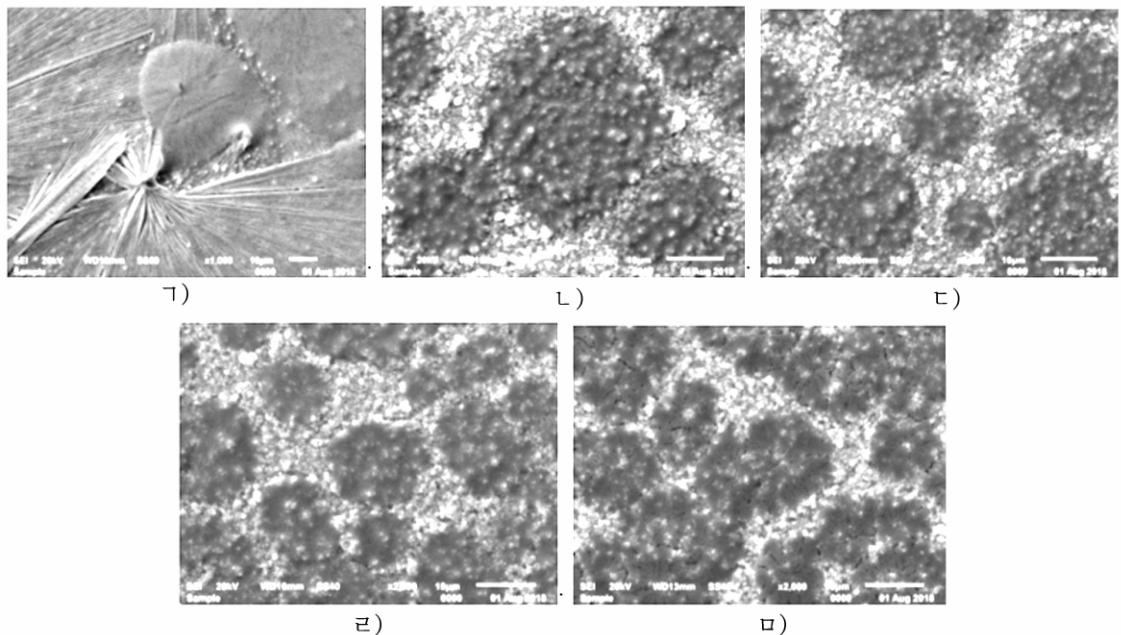


그림 4. FTO/c-TiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/ZrO<sub>2</sub>막위에 입힌 색소의 전자현미경사진

㉠)~㉡)는 티오노소첨가량이 각각 0, 5, 10, 15, 20mg인 경우

그림 4에서 보는바와 같이 티오노소가 없을 때에는 메조다공성층에 칼도포한 색소의 일부분은 메조다공성층에 침투되어 작은 결정을 형성하고 침투되고 남은 색소들은 ZrO<sub>2</sub>층에서 부채살모양과 둥근 모양의 선명한 결정을 형성하였다. 한편 티오노소가 5mg 첨가된 경우에는 메조다공성층에 침투되고 남은 전구체용액이 ZrO<sub>2</sub>층에서 결정을 형성하지 못한채로 남아있었다. 이러한 특성은 10mg 첨가경우까지 계속되다가 15mg 첨가때부터는 그것들이 점점 명백한 결정을 형성하기 시작하였으며 20mg 첨가때에는 선명한 꽃모양의

결정이  $ZrO_2$ 층우에 형성되었다.(그림 5) 티오뇨소첨가량이 증가될 때 생기는 결정상은 티오뇨소가 없을 때와 현저히 차이났다. 즉 티오뇨소가 없을 때에는 큰 부채살모양의 결정들이 형성되었지만 티오뇨소를 첨가하였을 때는 일정한 구역에 있는 작은 결정들이 서로 끌어당기면서 하나의 응축된 모양을 나타냈다. 반점들의 크기는 작아지고 뚜렷해지면서 둥근 모양으로부터 꽃모양으로 넘어갔다.

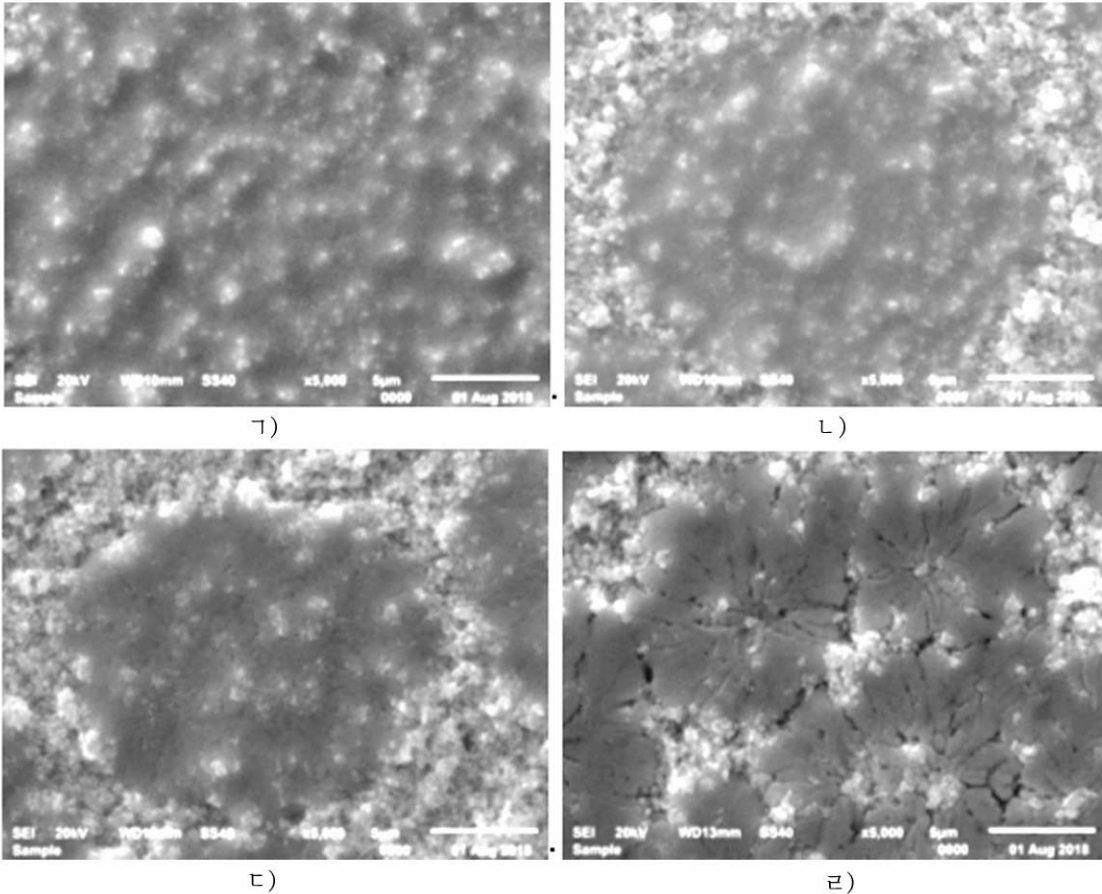


그림 5. FTO/c-TiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/ZrO<sub>2</sub>막우에 입힌 색소의 전자현미경사진(5 000배)

ㄱ)~ㄴ)는 티오뇨소첨가량이 각각 5, 10, 15, 20mg인 경우

티오뇨소첨가량이 증가할수록 이러한 응축상이 강화되면서 보다 선명한 결정이 생기지만 반면에 15mg이상부터는 빈 구멍이 나타나기 시작하며 20mg에서는 현저하게 나타났다. 이것은 티오뇨소첨가량이 지나치게 많아지면 메조다공성부분을 채우는데 부정적인 영향을 미칠수 있다는것을 보여준다. 결과 20mg이상 첨가하면 태양빛전지에서 층만인자가 크게 떨어지게 된다.

한편 첨가된 티오뇨소가 페로브스카이트결정안에 존재하는가를 확인하기 위하여 EDS 분석을 진행하였는데 티오뇨소를 첨가한 색소의 결면에서 S원자가 존재하였다. 이것은 페로브스카이트전구체용액에 첨가한 티오뇨소가 페로브스카이트결정속에 함께 존재한다는것을 말해준다.

티오뇨소를 리용하여 혼합형페로브스카이트형태양빛전지를 제작한 다른 연구자들의

경우에는 티오노소가 페로브스카이트결정에 존재하지 않았다. 그들의 실험에서는 페로브스카이트를 150℃에서 30min동안 처리하여 성장시켰다. 이러한 열처리과정에 티오노소가 결정에서 빠져나간다고 설명하였다. 그러나 우리의 실험에서는 100℃에서 20min동안 열처리하였으므로 티오노소가 페로브스카이트결정속에 그대로 존재할수 있으며 그것은 EDS분석을 통하여 확인되었다. 그러므로 페로브스카이트결정속에 남아있는 티오노소는 페로브스카이트결정형성에 일정한 영향을 미치게 될것이다.

티오노소는 페로브스카이트결정형성에서 구아니디움[1]과 같이 결합제로서의 역할을 할수 있다. 티오노소는 구조상 2개의 아미노기와 1개의 S주개로 되어있다. 여기서 2개의 아미노기는 구아니디움에서와 같이 페로브스카이트결정의 요드와 수소결합을 형성할수 있으며 S주개는 페로브스카이트의 NH<sub>2</sub>기와 수소결합을 형성할수 있다. 즉 3개의 린접한 결정들과 수소결합을 형성하면서 이것들을 서로 결합시킬수 있다. 티오노소량이 많으면 많을수록 이러한 결합이 많아져 결정들은 서로 강하게 결합되면서 하나의 응축된 상을 이루게 된다.

티오노소를 첨가하였을 때 일어나는 이러한 변화는 티오노소가 다음의 두가지 작용을 통하여 메조다공성층에 치밀한 페로브스카이트결정을 형성시킬수 있다는것을 보여준다. 첫째로, 티오노소가 페로브스카이트의 PbI<sub>2</sub>과 산염기부가물을 형성하면서 페로브스카이트결정형성을 지연시켜 균일한 결정들을 형성시킨다. 둘째로, 티오노소는 구아니디움과 마찬가지로 다공성C층과 ZrO<sub>2</sub>층안에서 형성된 결정들을 서로 결합시켜 다공성층안에서 빈구멍을 제거함으로써 구멍이 없는 페로브스카이트결정을 형성한다.

티오노소첨가색소를 리용한 태양빛전지의 빛전기변환특성을 검토하기 위하여 I-V곡선을 작성하였다.(그림 6)

그림 6에서 보는바와 같이 대조색소에서는 열린회로전압 0.881V, 닫긴회로전류세기 19.47mA, 충만인자 0.65, 효율 11.15%였지만 15mg의 티오노소를 첨가한 색소에서는 열린회로전압 0.910V, 닫긴회로전류세기 23.32mA, 충만인자 0.64, 효율 13.58%로서 빛전기변환특성이 크게 개선되었다.

티오노소첨가량에 따르는 태양빛전지의 빛전기변환특성값들은 표 1과 같다.

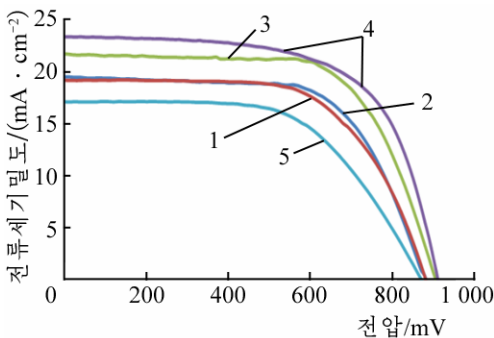


그림 6. 티오노소첨가량에 따르는  
빛전류세기-전압곡선  
1-5는 티오노소첨가량이 각각 0, 5,  
10, 15, 20mg인 경우

표 1. 리오노소첨가량에 따르는 태양빛전지의 빛전기변환특성값들

티오노소 첨가량/mg	열린회로 전압/mV	닫긴회로전류세기밀도 /(mA · cm <sup>-2</sup> )	충만인자	효율/%
0	881	19.47	0.65	11.15
5	881	19.16	0.63	10.63
10	905	21.68	0.66	12.94
15	910	23.32	0.64	13.58
20	870	17.08	0.59	8.77

표 1에서 보는바와 같이 티오뇨소를 15mg 첨가하였을 때에는 10mg 첨가하였을 때보다 충만인자가 약간 떨어지는데 그것은 SEM분석자료에서 본바와 같이 페로브스카이트층에서 빈 구멍들이 생기기 시작하는것과 관련될수 있다. 티오뇨소를 첨가하였을 때 일어나는 효율증가는 XRD, SEM분석자료에서 본바와 같이 보다 치밀한 결정이 메조다공성층을 구멍없이 채운것과 관련된다. 그러나 티오뇨소첨가량이 지나치게 많아지면 페로브스카이트층에서 빈 구멍들이 생겨나기 시작하면서 재결합이 강화되고 충만인자가 떨어져 태양빛전지 효율을 떨어뜨린다.

다음으로 빛터기전하전달자의 동적특성을 조사하기 위하여 빛발광분석을 진행하였다.(그림 7) 빛발광분석을 통하여 빛조임조건에서 생기는 전하전달자들의 동적상태를 알수 있다. 빛발광분석을 위한 시료는 유리와 FTO, FTO/c-TiO<sub>2</sub> 위에 페로브스카이트를 칼도포법으로 입혀 준비하였다.

500nm의 빛을 쏘여주었을 때 PL봉우리는 대조색소와 티오뇨소첨가색소에서 다같이 760nm에서 나타났다. 빛발광파장이 티오뇨소첨가에 의하여 달라지지 않는것은 티오뇨소가 페로브스카이트의 에너지준위를 변화시키지 않는다는것을 말해준다. 즉 첨가된 티오뇨소는 페로브스카이트결정들을 호상 결합시키는 작용을 한다고 볼수 있다.

PL세기는 티오뇨소첨가색소를 유리기판에 입힌 경우 대조색소경우보다 높았다.(그림 10의 1과 2) 이것은 티오뇨소첨가색소에서 비복사재결합이 크게 억제된다는것을 말해준다. 한편 c-TiO<sub>2</sub> 위에 티오뇨소첨가색소를 입히고 PL세기를 측정하였을 때 대조색소경우보다 PL세기가 낮아졌다. 페로브스카이트결정에서 빛에 의하여 생긴 전하는 c-TiO<sub>2</sub>로 넘어가면서 PL세기가 낮아지게 된다. 이로부터 티오뇨소를 첨가한 색소에서 생긴 전하가 효과적으로 TiO<sub>2</sub>으로 전달된다는것을 알수 있다. 빛발광분석을 통하여 15mg의 티오뇨소를 첨가한 색소에서 열린회로전압과 닫힌회로전류세기가 높아진것은 티오뇨소에 의하여 보다 치밀하고 발달된 결정이 형성됨으로써 그것의 비복사재결합과 전하수송특성이 개선된것과 관련된다는것을 알수 있다. 한편 티오뇨소첨가색소에서 충만인자가 대조색소에 비하여 약간 떨어진것은 색소의 응축현상으로 하여 페로브스카이트층에 약간의 구멍이 생기는것과 관련된다. 이것은 대조색소경우보다 20mg의 티오뇨소를 첨가한 색소의 경우 효율이 떨어지는것을 통해서도 알수 있다.

티오뇨소첨가가 전하재결합에 어떤 영향을 미치는가를 조사하기 위하여 전기화학완전저항분석을 진행하였다. 완전저항을 위한 등가회로와 나이크위스트선도는 그림 8과 같다.

높은주파수대역에서 실수축과의 사립점은 직렬옴저항(R<sub>s</sub>)을 나타내며 여기에는 TiO<sub>2</sub>의 저항과 CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>의 저항이 속한다. 높은주파수대역에서의 첫번째 반원은 대극/페로브스카이트계면에서의 전하전달저항을 나타내는 R<sub>1</sub>에 대응되며 중간주파수대역에서의 두번째 반원은 TiO<sub>2</sub>/페로브스카이트계면에서의 재결합저항(R<sub>2</sub>)을 나타낸다.

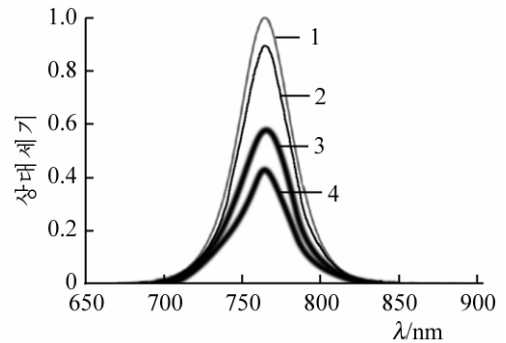


그림 7. 정상상태에서의 PL스펙트럼  
1-유리에 입힌 5mg티오뇨소첨가색소, 2-유리에 입힌 대조색소, 3-FTO/c-TiO<sub>2</sub>에 입힌 대조색소, 4-FTO/c-TiO<sub>2</sub>에 입힌 15mg티오뇨소첨가색소

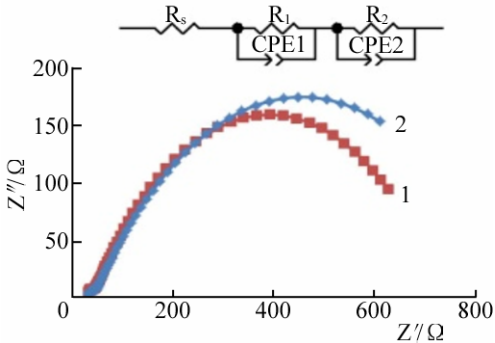


그림 8. 티오노소첨가에 의한 나이크 위스트선도의 변화

1과 2는 티오노소첨가량이 각각 0, 15mg인 경우; 완전저항은 어둡조건에서 편의전압  $-0.8V$ 를 걸어주고 측정하였다.

전기화학분석의 나이크위스트선도로부터 얻은 전자재결합특성값들은 표 2와 같다.

티오노소를 첨가하였을 때의 재결합저항과 상수상요소값은 각각  $829.3 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 과  $2.409 \times 10^{-5} \text{F/cm}^2$ 로서 티오노소가 없을 때의  $701.1 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ,  $1.303 \times 10^{-5} \text{F/cm}^2$ 보다 크게 높아졌다. 결과  $\text{TiO}_2/\text{페로브스카이트}$ 계면에서 전자수명은 티오노소를 첨가하였을 때  $19.97\text{ms}$ 로서 티오노소가 없을 때의  $9.13\text{ms}$ 보다 거의 2배나 길다. 이것은 티오노소를 첨가할 때 루실전류가 절반으로 줄어들수 있다는것을 보여준다.

완전저항분석으로부터 나온 전하수명은 어둡조건에서의 역전류의 전하수명으로서 이 값은 재결합특성을 반영한다. 즉 이 값이 클수록 재결합속도는

표 2. 전기화학분석의 나이크위스트선도로부터 얻은 전자재결합특성값들

티오노소 첨가량/mg	재결합저항( $R_2$ ) /( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	상수상요소값(CPE2) /( $\text{F} \cdot \text{cm}^{-2}$ )	전자수명( $\tau_n$ ) /ms
0	701.1	$1.303 \times 10^{-5}$	9.13
15	829.3	$2.409 \times 10^{-5}$	19.97

그만큼 작아진다. 빛발광실험에서 유리기관에서의 PL세기가 대조보다 티오노소첨가색소에서 더 높아진것은 같은 빛에 의하여 더 많은 전하전달자들이 발생하였다는것을 의미한다. 한편 c- $\text{TiO}_2$ 에서의 PL세기가 대조보다 티오노소첨가색소에서 더 낮아진것은 빛에 의하여 생긴 전하전달자가  $\text{TiO}_2$ 을 통하여 빨리 수송된다는것을 보여준다. 즉 티오노소첨가에 의하여 페로브스카이트의 빛수집기능이 강화되고  $\text{TiO}_2$ 에로의 전하수송속도가 개선된것 그리고 재결합저항이 증가된것으로 하여 전류세기밀도와 열린회로전압이 크게 증가되면서 태양빛전지효율이 증가된다.

## 맺는 말

3층메조다공성골격을 통해 침투시키는 티오노소가 페로브스카이트결정형성에 미치는 영향을 검토하였다. 티오노소는 페로브스카이트의 Pb에 배위되면서 페로브스카이트결정형성을 지연시키고 또 페로브스카이트안의 I,  $\text{NH}_2$ 기와 수소결합을 형성하면서 치밀하고 균일한 결정을 메조다공성골격안에 형성시켰다. 결과 페로브스카이트의 빛수집기능과 전하전달자수송기능이 강화되고 재결합저항이 커지면서 태양빛전지의 효율이 크게 개선되었다.



## 참 고 문 헌

- [1] X. M. Hou et al.; J. Mater. Chem., A 5, 73, 2017.
- [2] X. Li et al.; Nat. Chem., 7, 703, 2015.
- [3] Akihiro Kojima et al.; J. Am. Chem. Soc., 131, 6050, 2009.
- [4] Best Research-Cell Efficiencies. [http://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency\\_chart.jpg](http://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency_chart.jpg)(2016-08-12).
- [5] Wei-Ting Wang et al.; ACS Appl. Mater. Interfaces, 9, 1074, 2017.
- [6] Liang Li et al.; Adv. Mater., 28, 9862, 2016.
- [7] Michael Grätzel; Acc. Chem. Res., 50, 487, 2017.
- [8] Guangsheng Fu et al.; Solar Energy Materials & Solar Cells, 165, 36, 2017.
- [9] Yongzhen Wu et al.; Adv. Mater., 29, 1073, 2017.
- [10] Feijiu Wang et al.; J. Phys. Chem., C 121, 1562, 2017.
- [11] Chuanjiang Qin et al.; Adv. Mater., 29, 3808, 2017.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

## **Effect of Thiourea on Perovskite Crystallization for Fully Printable Solar Cells**

*Cha Kyong Jin, Ko Song Guk, Ryu Kwon Il, Kim Pyol and Ri Jin Hyok*

Thiourea retards the growth of the perovskite crystals by forming lewis acid base adducts and then makes the neighboring perovskite crystals combined each other by forming hydrogen bonds with iodine atoms and NH<sub>2</sub> groups in the perovskite films, from which compact and well contacted crystals are made in the mesoporous scaffolds. Therefore, the performances of perovskite solar cell with thiourea are improved significantly by 30% (from 10.63% of device without thiourea to 13.58% of device with thiourea).

Key words: thiourea, perovskite solar cell, cross linker