

## 염료 감응형 태양 전지의 전극 패턴 및 Pt 그리드에 따른 특성

이 임근<sup>1)</sup>, 최 진영<sup>2)</sup>, 김 정훈<sup>3)</sup>, 박 성진<sup>5)</sup>, 이 동윤<sup>5)</sup>, 김 희제<sup>6)</sup>

### Characteristics on electrode pattern & Pt grid of dye-sensitized Solar Cell

Imgeun Lee, Jinyoun choi, Sungjin Park, Dongyoon Lee, Heeje Kim

Key words : dye-sensitized solar cell (염료 감응형 태양전지), DSC, electrode pattern (패턴), Grid (그리드)

Abstract : 본 연구에서는 염료 감응형 태양전지의 효율 향상을 위한 유리 기판 및 전극 패턴에 따른 특성 변화와 대면적화 모듈을 위한 금속 그리드의 특성을 보여준다. 단위 셀 단위의 기본적인 재료와 기존의 제조 방법에 의해 제조된 염료 감응형 태양전지(DSC)는 높은 내부 저항으로 인하여 대면적 셀의 변환 효율은 치명적으로 저하된다. 또한 증가하는 내부 저항 감소를 위해서 외부적인 제조 공정이 추가되지 않고서는 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 TCO(ITO) 식각, TiO<sub>2</sub> 식각, 50mm X 50mm 셀과 100mm X 30mm 셀의 특성 비교 실험을 통해서 변환 효율 상승효과를 얻었고 광전류 포집 향상을 기대하기 위해 Pt 그리드를 이용해 current correcting line을 증착시켰다.

abstract

DSC : Dye-sensitized solar cell

### 1. 서론

염료 감응형 태양전지(DSC)는 비용과 효율의 이점 때문에 전망있는 태양전지가 될 것으로 기대한다. 염료 감응형 태양전지(DSC)의 비용의 저감과 안정성의 증진을 꾀하는 몇몇 기술들은 현재 연구되고 있다. 예를 들어 ionic liquid electrolytes<sup>(1,2)</sup>에 관한 연구, quasi-solids<sup>(3,4)</sup>와 solid hole transfer materials<sup>(9)</sup> 등의 연구는 DSC 모듈의 long-life와 안정성 향상을 위한 연구가 진행되고 있다. 그리고 염료 감응형 태양전지(DSC)의 대면적화를 위한 연구도 활발히 진행 중이다. 이와 같이 염료 감응형 태양전지(DSC)의 상업화를 위해서는 대면적 모듈기술 확보가 우선 과제이다.

투명 전도성 기판(TCO)의 크기와 전도성은 태양전지의 내부 저항을 좌우한다. 결과적으로는 태양전지의 Fill Factor 와 변환 효율에 영향을 줄 것이다. 이런 이유로 비상업적 연구에서는 small size의 셀이 높은 변환 효율을 얻기 위해 일반적으로 사용되고 있지만, small size 셀에 적용된

- 
- 1) 부산대학교 전기공학과 석사과정  
E-mail : firesungyork@hotmail.com  
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0262
  - 2) 부산대학교 전기공학과 박사과정  
E-mail : dipper98@hanmail.net  
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0262
  - 3) 부산대학교 전기공학과 석사과정  
E-mail : canon79@hanmail.net  
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0262
  - 4) 부산대학교 전기공학과 석사과정  
E-mail : dagiga79@hotmail.com  
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0262
  - 5) 한국전기연구소 재료응용연구단  
E-mail : dylee@keri.re.kr  
Tel : (055)280-16350 Fax : (051)280-1590
  - 6) 부산대학교 전기공학과 교수  
E-mail : heeje@pusan.co.kr  
Tel : (051)510-2364 Fax : (051)513-0262

염료 감응형 태양전(DSC)의 제조방법으로 대면적 셀을 제조하면 0.1%이하의 낮은 변화효율을 보인다.

셀 면적을 확장시키기 위해서, 두 가지 디자인 타입이 존재한다. 첫 번째는 대면적 모듈이다. 이것은 직렬로 small size의 직사각형의 셀을 서로 서로 연결한 것이다<sup>[5,6]</sup>. 이와 같은 타입은 두 가지 이점이 있다. 각 셀은 최적화된 과정으로 제조 될 수 있고 높은 개방 전류 전압은 단일 모듈로부터 얻을 수 있다는 것이다. 두 번째는 높은 전기 전도성 기판으로 만들어진 단일 셀 타입 대면적 모듈이다<sup>[6-8]</sup>. 간단한 모듈 구조 때문에 높은 생산성을 기대할 수 있고 높은 aperture ratio 덕에 모듈의 설치 면적을 줄일 수 있을 것으로 기대할 수 있다<sup>[7]</sup>. 상업성 측면에서 단일 셀 타입 대면적 모듈이 더 바람직 할 것이다. 단일 셀 타입 대면적 모듈은 옥외용용과 그 심플한 구조로 Cost와 효율의 이점을 높여 줄 것이다.

poly-crystalline Si 태양전지 같은 상업적 태양전지는 높은 면저항을 줄이기 위해서 silver solder 또는 conductive printing paste로 제조된 current-collecting grid를 가지고 있다. 염료감응형 태양전지(DSC)의 경우는 이와 같은 물질들은 채택 될 수 없다. 이 물질들은  $I^-/I_3^-$  redox electrolytes에 공격받고 metal grid와 redox electrolytes사이의 전하 재결합이 셀의 광전류를 감소시키기 때문이다<sup>[7]</sup>.

본 연구에서 셀의 대면적화를 위해 유리 기판의 식각,  $TiO_2$  식각, 광전극의 폭에 따른 특성 변화 실험을 통한 결과를 이용해서 백금 그리드를 가진 단일 셀 타입 대면적 모듈을 디자인 하였다.

## 2. 실험

우리는 단일 셀 타입의 대면적 모듈을 제작하기 전에 유리 기판의 패턴과  $TiO_2$  패턴을 결정하기 위한 3가지 실험을 했다. 모든 실험은 active area의 동일한 디면전을 유지하였고 실험의 결과는 각각 샘플들의 결과치의 평균치이다.

### 2.1 5cm X 5cm DSC의 각 패턴에 따른 효율 변화

첫 번째 실험은 5cm X 5cm (active area :  $13.5cm^2$ )의 투명 전도성 유리기판(ITO)을 사용하

였고, 투명 전도성 유리기판의 식각은  $CO_2$ 레이저가 이용되었다. 이 때  $CO_2$ 레이저의 출력18W였다. 그리고 나노 다공성  $TiO_2$ 층은 프린팅용 페이스트를 사용하였고 프린팅 두께는 50 $\mu m$ 로 조절했다.  $TiO_2$ 가 프린팅된 샘플기판은 대기 중 450C에서 30분 소결시켰고 소결된  $TiO_2$ 의 염료 침지는 24시간 동안 30C를 유지하였다. 상대전극은 RF 스퍼터링법에 의해 제조 되었고 산화 환원 전해질 두께는 50 $\mu m$ 로 조절했다.

Table 1. 5cmX5cm 투명 전도성 유리기판(ITO)의 각 패턴에 따른 효율 변화 (입력 : 10mW )

	ITO	$TiO_2$	효율
1	X	X	1.54%
2	O	X	1.76%
3	O	O	1.88%

O : 식각한 경우 X : 식각하지 않은 경우  
식각 간격 : 1cm

Table 1은 5cm X 5cm(active area :  $13.5cm^2$ ) 투명 전도성 유리기판(ITO)의 각 패턴에 따른 변환 효율 변화 특성을 보여 준다. 일반적인 5cm X 5cm 크기의 염료 감응형 태양전지(DSC)의 변환 효율은 1.54%에 지나지 않는다. 이 때 투명 전도성 유리 기판(ITO)을 식각한 경우는 1.54%에서 1.76%로 약 14%의 변환 효율 상승을 보여 주는 것을 알 수 있고 투명 전도성 유리 기판(ITO)과  $TiO_2$ 를 동시에 식각한 경우는 1.54%에서 1.76%로 22%의 변환 효율 향상을 보여준다. 이것은 전자의 수평적 이동성과 수직적 이동성에 있어 전자가 수평으로 진행하고자 하는 이동 경로를 차단을 통해서 전자의 수평적 이동을 저지한다. 이로 인해 광전류의 밀도는 상승 하고, dark current는 감소하며, 변환 효율은 향상된다. 염료 감응형 태양전지의 단일 셀 타입 대면적 모듈의 변환 효율 향상을 위해서는 투명 전도성 유리 기판(TCO)과  $TiO_2$ 식각은 필수 상황임을 알 수 있다.

### 2.2 10cm X 3cm DSC의 각 패턴에 따른 효율 변화

두 번째 실험은 10cm X 3cm(active area :  $13.5cm^2$ ) 투명 전도성 유리기판(ITO)을 사용하여 각 패턴에 따른 효율 변화를 측정 하였다. 10cm X

3cm로 염료 감응형 태양전지의 가로 세로 비율을 변화시킴으로서 상승된 변환 효율을 얻을 수 있었다. 10cm X 3cm 크기의 염료 감응형 태양전지의 제작 조건과 방법은 2.1과 동일하다.

Table 2. 10cmX3cm 투명 전도성 리기판(ITO)의 각 패턴에 따른 효율 변화 (입력 : 10mW )

	ITO	TiO <sub>2</sub>	효율
1	X	X	1.7%
2	O	X	2.55%
3	O	O	2.93%

O : 식각한 경우 X : 식각하지 않은 경우  
식각 간격 : 1cm

Table 2. 10cm X 3cm 투명 전도성 유리기판(ITO)의 각 패턴에 따른 효율 특성을 보여준다. 5cm X 5cm 크기의 염료 감응형 태양전지(DSC)와 10cm X 3cm 크기의 염료 감응형 태양전지(DSC)의 변환 효율은 1.54%에서 1.7%로 상승된 것을 보여준다. 또한 투명 전도성 유리 기판(ITO)을 식각한 경우 1.7%에서 2.55%로의 약 50%의 변환 효율 상승을 보여 주고 투명 전도성 유리 기판(ITO)과 TiO<sub>2</sub>를 동시에 식각한 경우는 1.7%에서 2.93%로 72%의 변환 효율 향상을 보여준다. 식각을 통해서 전자의 수평적 이동을 막아주고 전자가 부하로 진행 경로를 최대한 줄여 dark current를 보다 더 줄여 줄 수 있다는 것을 알 수 있다. 염료 감응형 태양전지의 단일 셀 타입 대면적화를 위해서는 변환 효율 향상을 위해서는 전극의 폭을 변화시켜 최대한 전자 진행 경로를 줄여야 한다.

### 3. Pt 그리드 염료 감응형 태양전지

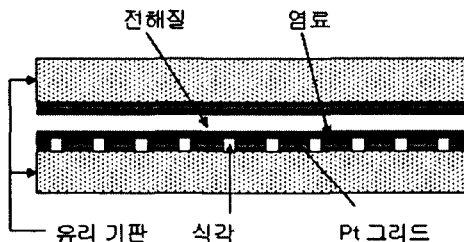


Fig. 1 Pt 그리드 염료 감응형 태양전지의 단면도

Fig. 1은 Pt 그리드를 가진 염료 감응형 태양전지의 단면도를 보여준다. 제작 공정과 조건은 앞의 실험과 동일하고 각 투명전도성 기판의 크기는 100mm X 60mm의 TiO<sub>2</sub> 전극과 110mm X 50mm의 상대전극을 접합한 형태로 이루어져 있다. 광전류 포집용 Pt 그리드 광전극과 상대전극은 각각 다른 형태로 증착 시켰고, 증착은 추가적인 RF 스퍼터링법에 의해서 유리기판위에 직접적으로 형성시켰다. 평균 Pt 그리드의 두께는 30 $\mu$ m이다. Pt 그리드는 내부에서 발생한 전자의 손실을 막고 발생한 광전류를 포집시켜 변환 효율을 상승시키는 역할을 한다.

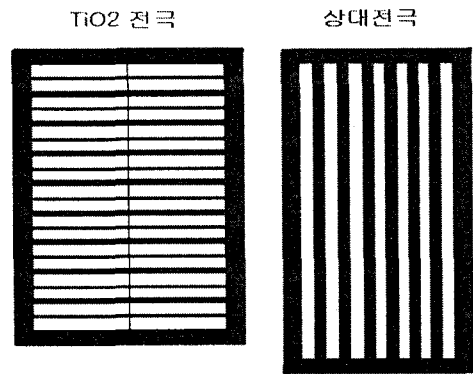


Fig. 2 Pt 그리드 패턴의 단면도

전극의 폭에 대한 광전류 밀도는 폭의 디멘전 이 3mm 이하의 경우에 급격히 상승한다고 알려져 있다. 그러나 셀구조와 셀의 면적의 한계성 때문에 3mm이하의 그리드 간격을 유지시키는 것이 어려웠다. 따라서 구조적 효율성과 제작시 편의성을 위해서 그리드 각격을 3mm로 디자인하였고 그리드의 폭은 1mm로 디자인했다.

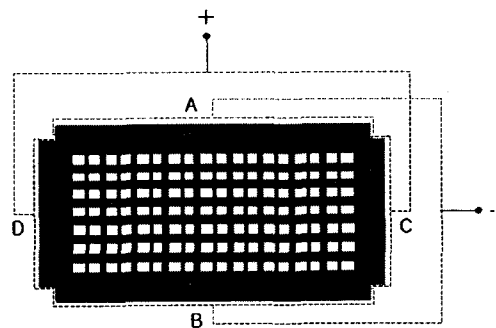


Fig. 3 Pt 그리드 염료 감응형 태양전지



Figure. 1 Pt 그리드 염료 감응형 태양전지

본 연구에서 제작한 실제 Pt 그리드 염료 감응형 태양전지이다.  $TiO_2$  전극 Pt 그리드와 상대전극 Pt 그리드의 접합은 그리드가 직교하는 형태의 구조로 디자인 했다. 이는  $TiO_2$  전극의 나노 다공성  $TiO_2$  페이스트 소결시 상승되는 표면 저항으로 인한 암전류 증가를 감소시키기 위해서 Fig. 3의 A와 B를 외부적으로 SHORT시켜 부하로 연결된다. 또한 상대전극과 부하 연결시 발생하는 구조적 문제를 보완하기 위하여 Fig. 3의 D와 C 또한 외부적으로 SHORT시켜 부하에 연결하는 구조로 되어 있다.

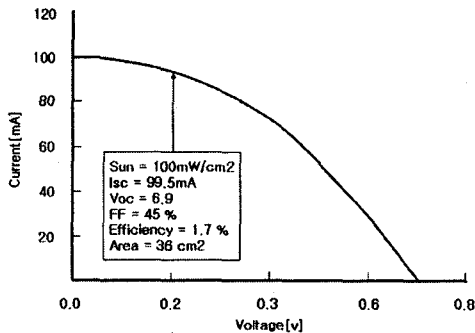


Fig. 4 Pt 그리드 염료 감응형 태양전지의 I-V 특성 곡선

Pt 그리드 염료 감응형 태양전지의  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , FF, 효율을 Fig 4에서 보여준다.

$100mW/cm^2$ 의 입사량에서  $I_{sc}$ 는  $99.5mA$ ,  $V_{oc}$ 는  $0.69V$ , FF는  $45\%$ , 변환효율은  $1.7\%$ 를 얻을 수 있었다. 이 번 연구의 결과 즉 FF와 변화효율은 만족스러운 결과를 얻지 못했지만 가까운 미래에 기대할 만한 FF와 변환효율을 얻을 수 있을 것으로 기대 된다.

#### 4. 결론

투명 전도성 기판,  $TiO_2$  층의 적당한 식각에 의한 패터닝만으로 효율 상승효과를 얻을 수 있음

을 알 수 있었고,  $TiO_2$ 의 폭에 따른 전류 밀도의 변화로부터 적당한  $TiO_2$  폭도 구할 수 있었다. 하지만 식각등의 패터닝에 의해서 얻을 수 있는 효율 향상 효과는 한계가 있다. 따라서 대면적 기판을 목적으로 한다면 Pt등과 같은 금속 그리드가 필요하고 생각된다. 금속 그리드가 광전극에 중착 되면 염료 감응형 태양전지가 보다 낮은 암전류 밀도를 가지는 것도 실험 결과를 통해서 얻을 수 있었다.

그러나 향후 연구에서는 Pt 그리드의 수명과 안정성을 확인할 필요성이 있고 더불어 Pt 그리드가 전해질과의 반응에 의해 소실 될 가능성도 확인해야 할 것이다. 또한 Pt 그리드의 제작비용이 고가라는 점이 염료감응형 태양전지(DSC)의 최대이점인 낮은 제조단가에 부정적인 영향을 미칠 것이다. 낮은 변환 효율과 FF 결과로부터 Pt는 예상보다 매우 높은 암전류를 가질 것이라고 추측 된다. 본 연구의 결과는 DSC의 상업화를 위해서 충분하지 못한 변환 효율일 것이다. 하지만 식각 기술의 개발, 다양한 패터닝, 그리고 긴 수명, 낮은 암전류 밀도와 낮은 전기저항 또한 낮은 광전류 재결합성을 가진 금속 그리드들 개발은 양질의 염료감응형 태양전지의 미래를 밝혀 줄 것이다.

본 연구는 한국과학재단 과제 연구비에 의하여 수행된 연구로서 관계부처에 감사를 포함합니다.  
과제번호 : B01-2004-000-10318-0

#### References

- [1] N. Papageorgiou, Y. Athanassov, M. Armand, p. Bonhote, H. Patterson, A. Axam, M. Gratzel, J. Electrochem. Soc. 143 (1996)3099
- [2] H. Matsumoto, T. Matsuda, T. Tsuda, R. Hagiwara, Y. Ito, Y. Miyazaki, Chem. Lett. (2001) 26.
- [3] W. Kubo, T. Kitamura, K. Hanabusa, Y. Wada, S. Yanagida, Chem. Commun. 4(2002)374
- [4] W. Kubo, T. Kitamura, K. Hanabusa, Y. Wada, S. Yanagida, Chem. Commun. 4 (2002) 374
- [5] K.P. Hanke, Zeitschrift fur physikalische chemie Bd. 212 (1999)
- [6] M. Spath, P.m. Sommeling, J.A.M. van Roosmalen, H.J.p. Smit N.P.G van der Burg, D.R. Mahieu, N.J. Bekker, M. Kroon, Prog. Photovolt. Res. Appl. 11(2003) 207
- [7] M. Gratzel, Prog. Photovolt. Res. Appl. 8 (2000) 171
- [8] M. kurth, US Patent US6462266B1 (2002)