

## AZO 박막의 전기전도특성 및 필름형 염료 태양전지의 광전 변환 특성

(Electrical Conduction Mechanism of AZO Thin Film and Photo-Electric Conversion Efficiency of Film-Typed Dye Sensitized Solar Cell)

곽동주\*

(Dong-Joo Kwak)

### 요 약

본 연구에서는 플렉시블 염료감응 태양전지(F-DSC)의 투명전도막으로서의 적용 가능성을 평가하기 위하여 PET 기판위에 AZO 박막을 증착하였다. 또한 ITO와 AZO 박막을 이용하여 동일한 조건하에서 F-DSC를 제작하여 광변환효율을 조사하였다. AZO의 경우 체적저항률 및 증착율은 220[W]의 전력조건하에서 각각  $1.8 \times 10^{-3} [\Omega \cdot \text{cm}]$ 와 25.5[nm/min] 정도였으며, 광투과율은 약 87[%]였다. AZO 박막의 전기전도 메커니즘의 방전전력 의존성은 XPS 분석결과 방전전력이 증가함에 따라 O1s/Zn2p의 성분비가 증가하여 산소성분에 의한 도너 제공에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 한편, AZO 투명전도막으로 제작된 F-DSC의 변환효율은 약 2.79[%] 정도였으며, 이는 상용 ITO의 2.94[%]에 거의 필적되는 값으로 AZO의 F-DSC에의 응용 가능성이 충분함을 알 수 있었다.

### Abstract

In this paper, AZO thin film was deposited on polyethylene terephthalate(PET) substrate by r. f. magnetron sputtering method from a ZnO target mixed with 2[wt%]  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . The flexible film-typed dye sensitized solar cell(F-DSC) was fabricated and photo-electric conversion efficiency was investigated. The results showed that the minimum resistivity and the maximum deposition rate of AZO conducting film were recorded as  $1.8 \times 10^{-3} [\Omega \cdot \text{cm}]$  and 25.5[nm/min], respectively at r.f. power of 220[W]. From the analysis of XPS data an improvement of electrical resistivity or an increase in carrier concentration with increasing sputtering power may be related to the generation of lattice imperfections as a result of increasing component ratio of O1s/Zn2p, which generates donor carriers or active growth of crystalline grain. The photo-electric conversion efficiency of F-DSC with AZO conducting electrode was over 2.79[%], which was comparable as that with commercially available ITO electrode.

Key Words : AZO Film, Lattice Constance, Biaxial Stress, XPS Spectra, Conversion Efficiency

\* 주저자 : 경성대학교 전기공학과 교수

Tel : 051-663-4771, Fax : 051-624-5980, E-mail : djkwak@ks.ac.kr

접수일자 : 2009년 12월 3일, 1차심사 : 2009년 12월 4일, 심사완료 : 2010년 2월 23일

## 1. 서 론

플렉시블한 필름형 염료감응 태양전지(Film typed-Dye Sensitized Solar Cell : F-DSC)는 웨어러블 컴퓨터(Wearable PC)의 보조전원을 비롯하여 구부림이 가능하고 또한 투명함이 요구되는 방한복이나 투명 유리창 등에의 응용이 기대되어 많은 연구가 진행되고 있다. 효율 높은 염료감응 태양전지의 개발을 위해서는 광전극을 비롯한 상대전극, 염료와 전해질 등 태양전지의 구성요소와 관련하여 기반 소재의 개발과 요소별 공정 기술의 확립 등 많은 연구가 병행되어야 한다. 이 중 특히, 투명전도막 특성은 태양전지의 정상적인 동작 및 효율 상승을 위하여 매우 중요한 요소기술로 인식되고 있으며, 전도성 유리 기판을 사용하는 기존의 염료감응 태양전지와는 달리 필름형의 경우 PET 및 PEN 등과 같은 플렉시블한 기판 위에 낮은 표면 저항율과 우수한 광투과율을 갖는 투명전도막을 증착해야 한다.

현재 염료감응 태양전지의 투명전도막으로는 FTO, ITO 등과 더불어 체적 저항율은 다소 높으나 환원성 분위기에 대한 내성, 가시광 영역에서의 높은 광 투과율과 저렴한 가격 등의 장점 등으로 ZnO : Al(AZO) 박막이 주목받고 있다[1]. ZnO는 ITO 및 FTO에 비하여 700[kJ/mol]의 큰 분해에너지를 가지므로 코팅 때 발생하는 전도도 및 투과율이 나빠지는 현상이 발생하지 않는 특징이 있으며, 위의 두 재료에 비해 밴드갭도 가장 낮아서 자외선 투과율이 낮다. 그러나 ITO와 FTO에 비하여 내습성이 약하다는 단점이 있어, 현재 내습성 향상 및 전도성 향상을 위하여 3족 원소인 B, In, Al, Ga 등을 도핑한 ZnO 투명전도막의 연구가 많은 연구자들에 의해 진행되고 있다[1-2].

필자는 선행 연구로부터 AZO박막의 전기·광학적 특성에 미치는 가스 압력 및 기판 온도, 그리고 Al 도핑 농도의 영향 등 AZO 투명전도막의 제작을 위한 최적의 공정변수를 확립하는 한편, AZO 박막의 전기 전도 메커니즘을 명확히 하였다[3-4]. 그러나 F-DSC용 투명전도막의 경우 전도막 위에 광전극으로서의 나노 TiO<sub>2</sub>입자와 염료 및 전해질이 부과되는 구조로 되어 있어, 이에 대한 내 산화성 및 물리·화학적 안정성이

특별히 요구되고 있다. 특히, 스퍼터된 AZO 원자의 기판에서의 활발한 결정 성장 및 이에 따른 우수한 전기·광학적 특성을 얻기 위하여 기판에 에너지원으로 적절한 온도를 가해야 하나, 고분자 기판 위에 투명 전도막을 형성할 경우, 기판의 내열성의 문제점 때문에 기판 가열이 불가능하여 낮은 증착율(deposition-rate) 및 이에 따른 긴 스퍼터 시간 등의 문제점을 가지고 있다[4].

이에 본 연구에서는 AZO 박막의 F-DSC의 투명전극으로서의 효용성을 타진하고 전기적 특성 향상을 위한 전도 메커니즘을 명확히 하는 한편, 제작된 AZO 박막 및 상용 ITO 박막을 이용한 F-DSC를 동일한 조건하에 제작하여, 광전변환효율에 미치는 ITO 및 ZnO:Al 전도막의 영향을 비교하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

AZO 박막은 r. f. 마그네트론 스퍼터 방법에 의해 제작되었으며, 타겟은 98[wt%]의 ZnO에 2[wt%]의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 도핑되었다. 기판은 40×10×0.25[mm]의 PET를 증착 전에 2-propanol과 증류수에 각각 15분간 초음파 세척을 행하였다. 진공조는 SUS304로 직경 270 [mm], 높이 450[mm]의 직원통의 형태이며, 방전 중 진공조 내의 온도 상승을 억제하기 위하여 진공조를 수냉벽으로 하였다. 본 연구에서는 PET 기판 및 스퍼터 원자를 플라즈마 입자들의 높은 열에너지로부터 보호하고 증착률 및 전기적 특성을 개선하기 위하여 PET 기판을 타겟에서 6[cm] 떨어진 곳에 위치하였다. 제작된 AZO박막의 두께 및 제 특성 실험의 방법은 전보[3-4]와 같다.

한편, 상용 ITO 및 AZO 박막을 이용하여 F-DSC를 제작하였다. 우선 TiO<sub>2</sub> 광전극은 ITO 및 AZO/PET에 상용 paste인 Ti-Nanoxide T-L(Solaronix Co. Ltd)와 본 실험실에서 제작한 Nanoporous Ti-Dioxide를 사용하여 spin coater법으로 프린팅하여 120[°C]에서 30분간 열처리하였다. 전해질은 polymer gel electrolyte이며, 상대전극은 Ti-foil 위에 H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>H<sub>2</sub>O 용액을 떨어뜨린 후, 450[°C]에서 30분간 열처리하여 사용하였다. 이렇게 제작된 두 전극 사이에 sealing 재료를 이용하

여 열풍 건조기에서 120[°C]의 온도로 3분간 열을 가하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 ZnO : Al 전도막의 구조적 특성

본 연구에서는 가스압력을 5[mTorr]로 고정하고 140~240[W]의 방전 전력 범위에서 30분 동안 증착하여 ZnO : Al 박막을 얻었다. 잘 알려진 바와 같이 ZnO : Al 박막은 모든 방전 전력 조건하에서 (002)면으로의 우선 배향성을 가지며, 본 연구의 경우 미약하나마 (004)면으로의 성장도 확인 할 수 있었다. 한편, XRD 회절 강도는 방전 전력이 140[W]에서 200[W]로 증가함에 따라 증가하였으며, 이후 감소하였다. 한편 본 연구에서 사용된 방전전력 조건하에서 XRD 회절각은  $2\theta=34.30[^\circ]$  이하로 기록되어, standard ZnO의  $34.45[^\circ]$ 에 비해 낮게 나타남을 알 수 있었다.

표 1. AZO 박막의 FWHM 및 결정립의 크기  
Table 1. FWHM and crystalline size of AZO film

|     | FWHM(rad) $\times 10^{-3}$ |      | Crystalline Size([nm]) |          |
|-----|----------------------------|------|------------------------|----------|
|     | 002                        | 004  | 002                    | 004      |
| 140 | 3.50                       | 5.70 | 41.42152               | 30.12313 |
| 160 | 4.98                       | 7.83 | 29.10536               | 21.89449 |
| 180 | 4.27                       | 6.41 | 33.95753               | 26.77688 |
| 200 | 4.09                       | 6.41 | 35.49822               | 26.76667 |
| 220 | 4.09                       | 9.97 | 35.49143               | 17.19473 |
| 240 | 4.67                       | 9.97 | 31.06586               | 17.20633 |

표 1에 (002) 및 (004)면의 XRD 회절 패턴에서 얻어진 FWHM 값과 Scherrer의 식을 이용하여 계산된 결정 크기를 나타낸다. 결정의 크기는 방전전력이 증가함에 따라 증가하여 200[W]의 방전전력 조건하에서 약 35[nm]로 성장한 후 감소하여, 200[W]의 방전전력 조건하에서 최적의 결정성장이 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 한편, 방전 전력의 변화에 따른 격자상수를 다음의 식 (1)을 이용하여 계산하여, 그 결과를 그림 1

에 나타내었다. 계산된 격자 상수는 200[W]의 방전 전력에서 5.225[Å]으로 가장 작은 값을 보였으며 220[W]에서 5.235[Å]으로 가장 큰 값을 보였다. 본 실험의 방전전력의 범위에서의 격자상수는 약 5.225~5.235[Å]의 범위였으며, 모든 방전전력의 범위에서 벌크 ZnO의 5.200[Å]보다 큰 값을 기록하였다. 방전 전력의 변화에 대한 이러한 격자상수의 변화는 주어진 전력 조건하에서 스퍼터된 입자들의 c축 방향으로의 압력의 차이에 의한 것으로 생각된다.

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (1)$$

이에 격자 상수의 변화와 AZO 박막의 응력(stress) 사이의 관계를 설명하기 위하여 방전전력의 변화에 대한 biaxial stress를 구하여 그림 2에 나타내었다. 응력의 산정시에는 biaxial strain model[5]에 기초하여 기판 표면에 수직인 c축 방향으로의 변형(strain)  $\epsilon = [(c_{film} - c_{bulk})/c_{bulk}]$ 이 XRD에 의해 측정되었으며, 박막 표면에 평행한 방향으로의 응력  $\sigma_{film}$ 을 구하기 위하여 hexagonal lattice 구조를 갖는 ZnO에 유효한 다음의 식 (2)가 이용되었다. 즉,

$$\sigma_{film} = \frac{2c_{13}^2 - c_{33}(c_{11} - c_{12})}{2c_{13}} \times \epsilon \quad (2)$$

이다. 위 식에서 단결정 ZnO의 탄성계수 cij값은 각각  $c_{11}=208.8$ ,  $c_{33}=213.8$ ,  $c_{12}=119.7$  그리고  $c_{13}=104.2$ [GPa]의 값을 사용하였으며,  $c_0$ 는 standard ZnO의 c축 격자 상수로 0.5206[nm]이다[5].

그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 방전전력의 변화에 대한 biaxial stress의 변화는 격자상수의 그것과 유사한 경향을 보이고 있으며, stress값이 작아짐에 따라 박막의 결정 상호간의 압력 역시 작아져 결정의 격자 상수도 작아지는 결과를 초래함을 알 수 있다. 그리고 200[W]의 방전 전력에서 가장 낮은 stress값을 보였으며 220[W]에서 -1.32[GPa]로 가장 높은 stress값을 보였다. 일반적으로 결정립 사이에 작용하는 응력은 XRD 회절각의 위치에 많은 영향을 미치게 되며,

이는 박막의 전도 특성에도 영향을 주게 되어 많은 연구 결과가 발표되고 있다[1-4]. 본 연구의 경우에도 XRD 회절특성의 결과 standard ZnO에 비해 low angle로의 shift가 있음을 알 수 있었으며, 이는 박막의 성장 중에 발생하는 응력에 의한 것으로 생각된다. 특히 그림 1의 방전전력의 변화에 대한 2[θ]의 변화 특성을 보면, 200[W]의 전력 조건하에서의 2[θ]의 값이 다른 전력 조건에 비해 높은 것은 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 응력이 가장 낮기 때문으로 생각된다.

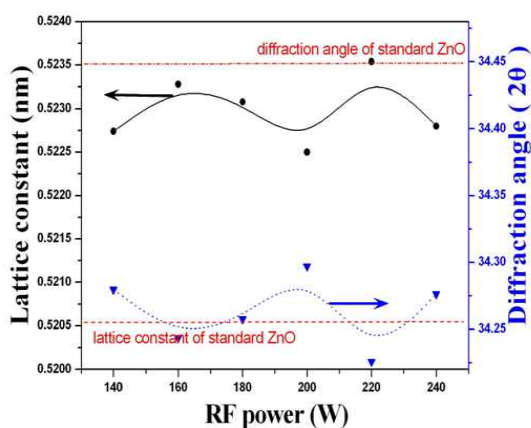


그림 1. 방전전력의 변화에 대한 AZO 박막의 격자상수 및 회절각  
 Fig. 1. Lattice constant and diffraction angle of AZO film at various r. f. powers

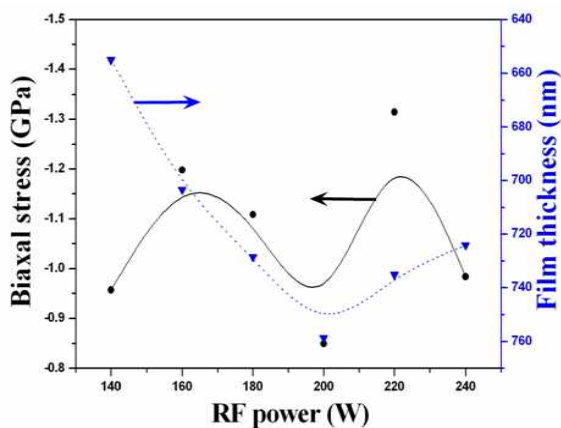


그림 2. 방전전력의 변화에 대한 AZO 박막의 응력과 박막 두께의 변화  
 Fig. 2. Biaxial stress and film thickness of AZO film at various r.f. powers

이상의 결과로부터 140~240[W]의 방전전력의 범위 내에서 증착시간을 동일하게 하였을 경우, 박막의 두께를 비롯하여 결정 사이의 응력 특성과 격자상수 등의 면에서 가장 적합한 전력 조건은 200[W]로 생각된다.

### 3.2 전기적 특성

그림 3은 방전 전력의 변화에 따른 AZO 박막의 증착률 및 체적 저항률 특성을 나타낸다. 증착률은 주어진 방전전력 조건하에서 약 21~26[nm/min]의 범위였으며, 방전 전력이 140[W]에서 200[W]로 증가함에 따라 22[nm/min]에서 25.5[nm/min]로 증가하다가, 이후 약간 감소함을 알 수 있었다. 그리고 체적저항율은 140[W]에서 240[W]까지 방전 전력이 증가함에 따라  $6 \times 10^{-3} [\Omega \cdot \text{cm}]$ 에서 약  $2 \times 10^{-3} [\Omega \cdot \text{cm}]$ 로 낮아짐을 보였으며, 220[W]의 방전 전력에서  $1.8 \times 10^{-3} [\Omega \cdot \text{cm}]$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다.

증착물의 방전 전력 의존성은 방전 전력이 증가함에 따라 플라즈마 중의 전자 에너지가 증가하여 효율적인 전리 작용이 가능하게 되고 따라서 타겟에 충돌하는 Ar이온의 밀도 및 에너지가 증가하기 때문이다. 또한 방전 전력이 증가함에 따라 체적 저항율이 감소하는 것은 스퍼터율이 증가하고 결정 성장이 촉진되어 박막 성장 과정 중에 격자 결함의 발생 및 이에 따른 캐리어 증가에 기인하는 것으로 생각된다.

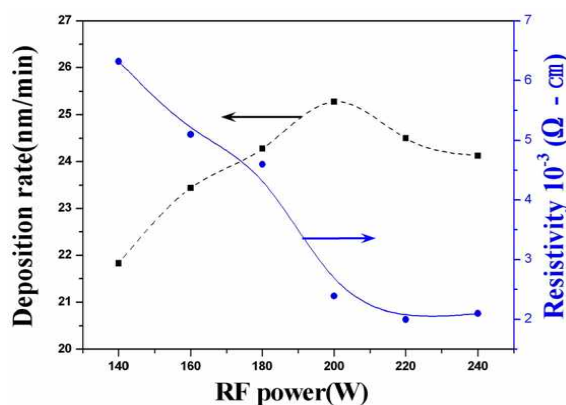


그림 3. r. f. 전력의 변화에 대한 저항률 및 증착률 특성  
 Fig. 3. Electrical resistivity and deposition rate properties as a function of r.f. power

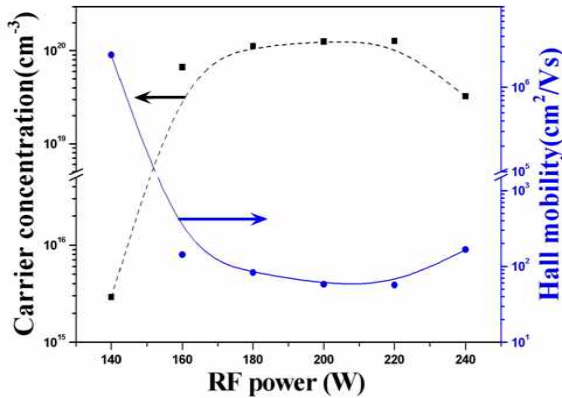


그림 4. rf 전력의 변화에 대한 홀이동도 및 농도  
 Fig. 4. Hall mobility and carrier concentration at various r. f. powers

이러한 전도특성을 보다 명확히 하기 위하여 캐리어 농도와 홀 이동도를 측정하여 그림 4에 나타내었다. 그림에서 방전 전력이 140[W]에서 160[W]로 증가하면 캐리어 농도가 급격히 증가하여 220[W]의 전력 조건하에서 최대치를 나타낸 후, 240[W]에서 다시 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 방전전력이 지나치게 증가하면 과도하게 증가된 스퍼터율에 의해 박막 성장이 둔화되어 캐리어 밀도가 낮아진 것으로 사료된다. 한편, 같은 방전전력 조건하에서의 광투과율은 약 87[%] 정도였다.

### 3.3 화학적 특성

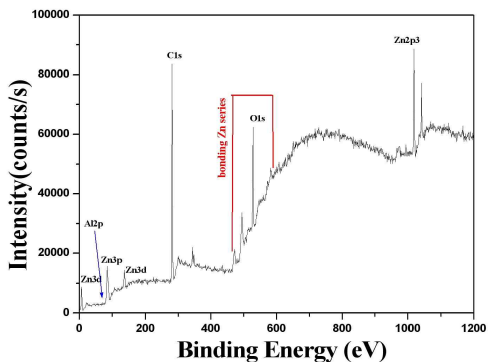
고저항체로써 최대 1025[Ω · cm]까지의 비저항을 갖는 벌크 상태의 ZnO는 박막화 과정에서 Zn과 O의 비율이 1 : 1을 벗어나 비화학양론적인 구조를 갖는다. 따라서 Zn 침입형 원자나 산소공공과 같은 결함들을 결정 내에 포함하고 있으며 이들 결정 결함들은 이온화 반응을 거쳐 전자를 생성하여 전기전도에 기여하게 된다. 여기에 인위적으로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가하면 반도체 입자 또는 입계에 Al<sup>3+</sup>이온으로 도핑되어 donor로 기여하게 되므로 ZnO 입자내의 도너 상태 밀도를 증가시켜 전기적 특성을 향상시키게 된다. 이러한 경향을 확인하기 위하여 XPS를 이용하여 제작된 박막의 성분을 측정된 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5는

200[W]의 방전 전력과 5[mTorr]의 동작 압력에서 제작된 AZO 박막의 XPS spectra이다. 그림 5 (a)에서 측정된 성분은 각각 Zn2p<sub>3/2</sub>, Zn3p, Zn3d와 C1s가 나타났으며, 각각의 Zn과 결합된 O가 나타났으며 마지막으로 Al2p가 미량 검출 되었다.

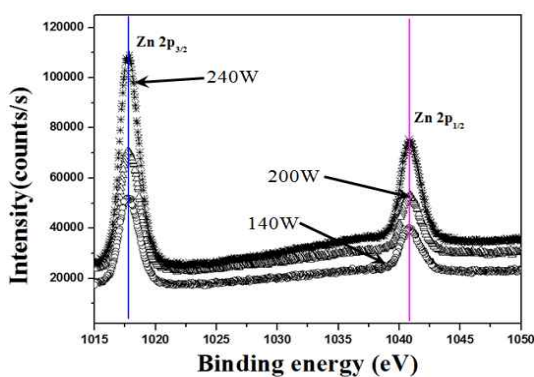
본 연구에서는 PET 기판에 증착된 AZO 박막 중에 가장 좋은 특성을 가진 ZnO : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(98:2[wt%])의 타겟으로 실험을 하였다. 글래스 기판에서는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 1.5~2[wt%]로 도핑된 타겟의 경우, Al성분의 도핑 정도가 약 4[at%]로 나타나고 있다[6]. 그러나 본 실험의 PET 기판의 경우, Al의 도핑 농도는 1~2.5[at%]정도로 비교적 낮은 값을 나타내었다. 이러한 결과는 향후 ZnO에 대한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 도핑농도의 정밀제어를 통하여 박막 특성의 향상이 가능함을 암시하는 결과로 생각 된다.

한편, 그림 5 (b)와 (c)에 나타나있는 각 성분에 대한 binding energy는 Zn2p<sub>3/2</sub>가 1017.85[eV], Zn2p<sub>1/2</sub>가 1040.75[eV]였으며, O1s는 526.45[eV]정도였다. 그리고 약 528[eV] 부근에서 O의 다른 binding energy가 측정 되었다. 약 526[eV]부근의 O는 Zn-O 결합에 의한 binding energy이며 528[eV]부근의 binding energy는 증착 후 chamber를 열었을 때 공기 중의 H<sub>2</sub>O 분자와 결정 내에서 결합이 있는 부분과 결합하여 더 높은 에너지대에서 O-H로 결합된 결과로 추정 된다[7]. 이러한 O-H 결합은 AZO 박막의 표면에만 존재하는 것으로, 이때의 수소 원자는 어느 정도 donor로 기여하는 것으로 알려져 있다.

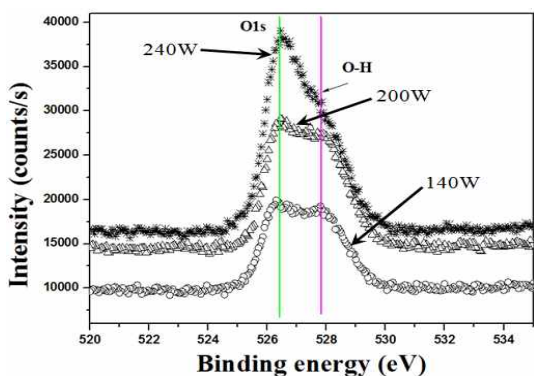
그림 6은 방전 전력의 변화에 대한 O/Zn와 Al/Zn의 성분비를 나타낸다. 일반적으로 화학양론적인 조성을 갖는 벌크상태의 ZnO를 박막화 시키는 과정에서 Al 등의 불순물 원자를 첨가함으로써 원자의 비율이 1 : 1을 벗어나 비화학양론적인 구조를 가지고 성장하게 되는데, 본 실험의 경우 방전전력의 변화에 따라 O/Zn 및 Al/Zn의 성분비가 크게 변화하게 됨을 알 수 있었다. 그림에서 O/Zn의 성분비는 140~200[W]의 방전 전력 범위에서 방전전력이 증가함에 따라 증가하여 200[W]의 전력 조건하에서 4.5로 최대치를 기록하였으며, 이후 방전 전력이 240[W]까지 증가함에 따라 약 2.0으로 낮아지고 있음을 알 수 있다. 또한, Al/Zn의



(a) XPS wide spectra of AZO film



(b) Zn 2p<sub>3/2</sub>, Zn 2p<sub>1/2</sub> of ZnO film



(c) O 1s of AZO film

그림 5. AZO 박막의 XPS 스펙트라  
Fig. 5. XPS spectra and of the prepared AZO film

경우 방전 전력이 증가함에 따라 Zn에 대한 Al의 성분 비는 약 0.01에서 약 0.06까지 증가하는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 AZO 투명전도막의 전기전도 메카니즘은 Zn 침입형 원자 및 산소공공과 같은 격자결함

에 의한 donor의 생성에 크게 의존한다고 보고되고 있다[3-4]. 그러나 본 연구의 경우, Zn 원자에 대한 Al 원자의 성분비가 방전전력이 증가함에 따라 지속적으로 증가하여 방전전력의 변화에 대한 전기적 특성의 변화가 Al 침입형 원자에 의한 것으로 생각하기는 어렵다. 이에 대해 최적의 전기적 특성을 나타내고 있는 약 200~220[W]의 방전전력 조건하에서 Zn 원자에 대한 산소원자의 성분비가 최고치임을 고려하면 본 연구의 경우, 방전전력의 변화에 따라 산소공공에 의한 결정결함들이 이온화 반응을 거쳐 전자를 생성하여 전기전도에 기여하게 됨을 알 수 있다. 한편, 이러한 결과는 그림 4의 방전전력의 변화에 대한 캐리어 농도의 변화 특성과 비교하여도 모순되지 않는다.

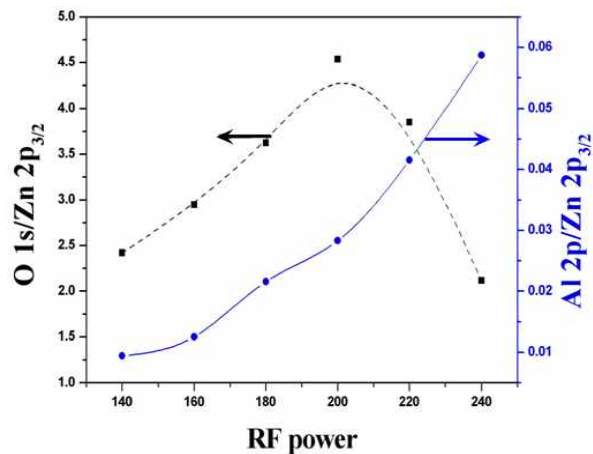


그림 6. r.f. 전력의 변화에 대한 O/Zn 및 Al/Zn의 성분비  
Fig. 6. The O/Zn & Al/Zn ratios as various r.f. powers

### 3.4 F-DSC의 광전변환 특성

제작된 AZO/PET전극을 이용하여 0.25[cm<sup>2</sup>]의 F-DSC를 제작하였다. 이 때 전도막의 광투과도 및 면저항은 각각 87[%] 및 20[Ω/cm<sup>2</sup>]이었다. 셀 효율은 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{input}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{input}} = \frac{V_{oc} \cdot J_{sc}}{P_{input}} \cdot FF \quad (3)$$



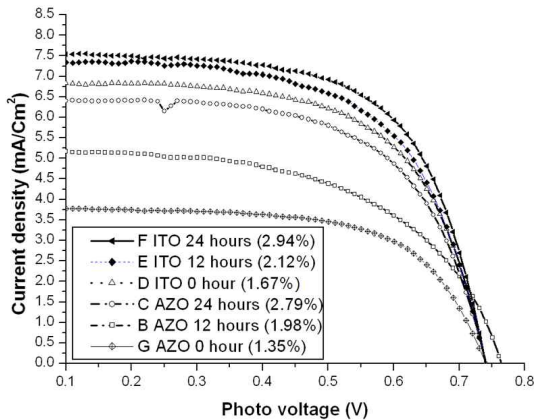


그림 7. AZO와 ITO를 이용한 F-DSCs의 I-V 특성  
Fig. 7. I-V curves of F-DSCs

그림 7에 제작된 F-DSC의 I-V 특성곡선을 나타낸다. 셀 제작 후 1[%] 정도의 매우 낮은 효율을 보였던 셀은 시간이 경과함에 따라 개선되어 24시간 후 최대 2.79[%]까지 증가하여 안정되고 있음을 알 수 있었다. 한편, AZO를 이용하여 제작된 F-DSC의 fill factor(ff) 특성은 셀 제작 직후의 54[%]에 비하여 24시간 경과 후 63[%]를 나타내었으며, 셀의 내부 저항도 약 50[%] 정도 감소하였다. 이와 같이 시간의 경과와 함께 효율이 상승하는 것은 준고체 전해질 내의 이온 확산작용에 의한 것으로 생각되며, 이는 셀의 내부저항의 감소 및 전류밀도의 증가를 초래하게 된다. 본 실험의 경우 광전변환효율은 약 2.79[%]로 비교적 저조한 효율을 기록하였으나 같은 조건하에서 상용 ITO 박막으로 제작된 F-DSC의 그것(2.94[%])에 비해 큰 차이가 없어, AZO 투명전도막의 필름형 염료 태양전지의 투명전극으로의 활용이 가능할 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 플렉시블한 전자 디바이스의 투명전도막으로 활용이 기대되는 AZO 투명전도막의 전기전도 메커니즘을 규명하는 한편, 이를 이용하여 F-DSC의 광전변환효율을 조사하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 220[W]의 방전전력 조건하에서 저항율 및 증착율은 각각  $1.8 \times 10^{-3} [\Omega \cdot \text{cm}]$  및  $25.5 [\text{nm}/\text{min}]$ 의

로 가장 우수한 특성을 나타내었다.

- (2) XPS 분석 결과, 방전전력의 변화에 대한 AZO 박막의 전기전도특성은 산소공공에 의한 격자 결함들이 이온화 반응을 거쳐 전자를 생성하여 전기전도에 기여하게 됨을 알 수 있었다.
- (3) AZO 박막을 채용한 F-DSC의 광전변환효율은 약 2.79[%] 정도로 상용 ITO 박막의 경우에 비해 거의 비슷하여, F-DSC의 투명전도막으로의 활용이 가능할 것으로 생각된다.

본 연구는 2010학년도 경성대학교 학술지원사업의 연구비로 수행되었음.

#### References

- [1] T. Minami, et. al., "Group III Impurity Doped Zinc Oxide Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.24, L781, 1985.
- [2] A. Suzuki, et. al., "Transparent Conducting Al-Doped ZnO Thin Films Prepared by Pulsed Laser Deposition", Jpn. J. Appl. Phys. 35, L56, 1996.
- [3] D. J. Kwak, et. al., "Discharge power dependence of structural and electrical properties of Al-doped ZnO conducting film by magnetron sputtering (for PDP)", Vacuum, Vol. 83, pp.113-118, 2008.
- [4] D. J. Kwak, et. al., "Bias voltage dependence of electrical and optical properties of ZnO:Al films deposited on PET substrate", JKPS, Vol.55, No.5, pp. 1940-1944, 2009.
- [5] A. Segmuller, et. al., Analytical Techniques for Thin Film, Academic Press, Boston, 1988, p. 143.
- [6] R. Cebulla, et. al., "Al-doped zinc oxide films deposited by simultaneous rf and dc excitation of a magnetron plasma", J. Appl. Phys. 83, 1998, pp. 1087.
- [7] C. G. Van de Walle, "Hydrogen as a Cause of Doping in Zinc Oxide", Phys. Rev. Lett. 85, pp1012, 2000.

#### ◇ 저자소개 ◇



**곽동주** (郭東周)

1958년 6월 20일생. 1983년 2월 건국대학교 전기공학과 졸업. 1989년 3월 (일본)구주대학 전기공학과 졸업(박사). 1989년 3월 KERI 선임연구원. 1990년 3월 경성대학교 전기공학과 전임강사. 1997년 Texas Tech Univ. Visiting Scholar. 현재 경성대학교 전기공학과 교수.