

Textured-AZO/AZO/Glass 투명전극을 갖는 염료감응 태양전지의 광전변환 특성

서 빙¹, 박춘배¹, 황근창^{2,a}

¹ 원광대학교 전기전자 및 정보통신공학부

² 원광대학교 반도체·디스플레이학과, 원광인체과학연구소

Photoelectric Conversion Properties of Dye-sensitized Solar Cell in the Transparent Electrode of Textured-AZO/AZO/Glass

Xu Bing¹, Choon Bae Park¹, and Geun C. Hoang^{2,a}

¹ School of Electrical Electronic and Information Engineering, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

² Department of Semiconductor and Display, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

(Received November 17, 2011; Revised November 29, 2011; Accepted December 6, 2011)

Abstract: We were studied that AZO conductive thin film can substitute for FTO electrode in dye sensitized solar cell. Three types of AZO films were deposited on soda-lime glass(AZO/glass, AZO/AZO/glass, textured AZO/AZO/glass) using RF magnetron sputtering process and investigated their properties of electrical, optical, and photoelectric conversion rate. The textured AZO/AZO/glass has the lowest resistivity of $3.079 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ among other films. And the optical transmittance rate was better than both non textured AZO/AZO/glass and FTO/glass in the visible region. After manufacturing dye solar cells using the three types of AZO films, the textured AZO/AZO/glass showed the highest photoelectric conversion rate of 3.68% among AZO samples. But the transformation rate was slightly lower than FTO cells (4.52%). However, the conductive film of textured AZO/AZO/glass can be applicable to use an electrode in solar cells as cost-effective products.

Keywords: Textured AZO thin film, Optical transmittance, Photoelectric conversion rate, Dye sensitized solar cell, RF magnetron sputtering

1. 서론

염료감응 태양전지의 투명전도막은 주로 ITO (indium tin-oxide) 및 FTO (fluorine-doped tin-oxide)를 사용하고 있다. 그러나 ITO의 경우 수소 또는 산소의 플라즈마 상태에 노출될 경우 급속으로 환원되어 저항이 급상승하게 된다. 또 원재료인 In의 가격상승에 따른 공

급 불안과 In의 독성에 대한 심각한 공해문제가 지적되고 있다. FTO 박막은 주로 PVD (physical vapor deposition) 혹은 CVD (chemical vapor deposition) 방법으로 제작하고 있으나 그 제작비용이 높고 기술이 매우 복잡한 편이다 [1,2].

따라서, FTO/ITO를 대체할 신소재로써 AZO (aluminium-doped ZnO)가 주목받고 있다. 순수한 ZnO는 Hexagonal Wurtzite 구조를 가지고 있으며, 3.3 eV의 넓은 에너지 밴드갭을 가지는 n-type 반도체이다.

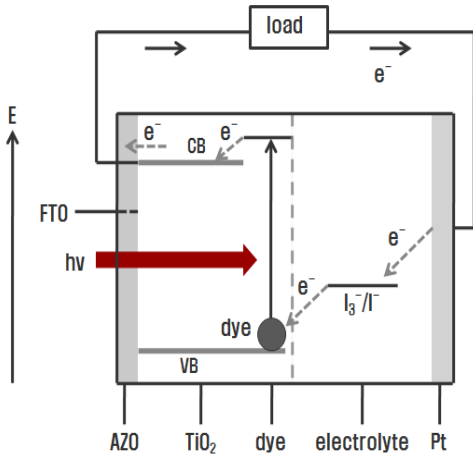


Fig. 1. Schematic energy diagram of AZO/TiO₂/dye/electrolyte/Pt dye-sensitized solar cells. Solid line is the FTO conduction band.

AZO는 $10^{-4} \Omega\text{cm}$ 의 비저항과 가시광 영역에서 80% 이상의 광투과율을 갖는다. 또한 AZO는 재료가 저렴하며, 표면 texture 구조화와 저온성막이 가능하며 플라즈마에 대한 우수한 내구성 등의 장점을 가지고 있다 [3,4].

본 연구에서는 염료감응 태양전지의 상업적 응용에서 제조 단가 절감과 광전변환효율 향상을 목적으로 AZO 투명전도막을 광전극과 상대전극에 적용하였다. RF-magnetron sputtering 법을 이용하여 glass기판 위에 AZO buffer layer를 갖는 AZO 투명전도막을 증착하고, texturing 에칭을 실시하여 광전극을 그리고 백금 촉매제를 코팅하여 상대전극을 각각 제조하였으며, 이들을 이용하여 제조한 염료감응 태양전지와 상업용 FTO/glass 전극을 이용하여 동일조건으로 제조한 염료감응 태양전지의 특성을 비교 검토하였다. AZO 투명전도막의 결정 구조 분석과 전기적·광학적 특성 분석 그리고 이를 사용하여 제조한 염료감응 태양전지의 출력 V_{oc} , I_{sc} 및 FF와 광전변환효율도 분석하였다.

참고로 그림 1은 AZO/TiO₂/dye/electrolyte/Pt의 개략적인 energy level diagram이다. 투명전극은 FTO 대신 AZO 전극을 사용한 그림이며 AZO의 conduction band (CB)의 energy level은 TiO₂ 거의 같으며, FTO 전극의 경우 CB는 점선으로 표시되었으며 AZO 보다 에너지 레벨이 낮다. 그러므로 AZO 광전극은 FTO 보다 쇼트기 장벽이 낮기 때문에 투명전극으로 사용이 가능하므로 대체 전극의 가능성을 연구하였다.

2. 실험 방법

염료감응 태양전지의 광전극과 상대전극으로 AZO 투명전극을 적용하기 위한 AZO 증착공정은 RF-magnetron sputtering 법을 이용하여 제조하였다. 기판은 soda lime glass (2.2 T)를 사용하였고, 타겟은 ZnO에 2 wt% Al₂O₃가 첨가된 AZO 타겟을 사용하였으며, 초기 진공도는 8×10^{-6} Torr, 작업 진공도는 5 mTorr로 하였다. 기판 온도는 100°C로 설정하고, RF 파워를 150 W로 하였으며, 산소의 dangling-bond를 줄이기 위해 Ar:H₂(1%) 혼합 가스를 사용하였다 [4,5]. AZO박막의 결정성 향상을 위해 AZO buffer layer를 150 nm 두께로 증착하고 in-situ 어닐링을 400°C에서 60분 간 실시한 후, 그 막 위에 다시 AZO 박막을 600 nm 두께로 증착하였으며, AZO 박막의 결정성 향상과 전기적 특성을 향상시키기 위해 역시 400°C의 수소 분위기에서 60분 간 후열처리를 하였다 [4]. 이렇게 제조된 AZO 투명전극의 광 흡수율 향상과 접촉저항을 감소시킬 목적으로 표면 texture 구조화를 위해 1%의 염산수용액에 10초 동안 습식 에칭을 하였다 [6]. 표 1에 AZO 투명전도막 증착을 위한 RF-sputtering 공정 조건, 열처리조건, 그리고 에칭조건을 정리하였다.

제조된 AZO 전극과 상용 FTO 전극을 사용하여 동일조건으로 염료감응태양전지를 각각 제조하였다. 먼저 1.5×1.5 cm의 크기로 자른 AZO 전극 위에 3M 테이프를 이용해서 광전극의 테두리 부분을 masking 하였다. 여기에, doctor-blade법을 이용하여 상용 TiO₂ paste (DSL 18NR-T, Solaronix Co.Ltd)를 프린팅하고 450°C에서 30분 간 소성하면 paste를 구성하던 고분자와 소량의 용매가 제거되고 두께가 약 8 μm 정도의 TiO₂ 다공성 나노 결정층이 형성된다. 그리고, N719 염료 (cis-bis(isothiocyanato) bis (2, 2'-bipyridy-4,4'-dicarboxylato)-ruthenium(II), Solaronix Co. Ltd)를 정제된 에탄올에 희석하여 0.5 mM 농도의 용액 (보라색)을 제조하고, 3M 방수 테이프와 호일을 사용하여 광전극을 제외한 부분을 masking하였다. 상온에서 광전극을 12시간 담가두어 N719 염료를 흡착시켰다 [7]. 상대전극 (1.5×0.7 cm)은 백금 (Pt) 촉매 줄을 역시 AZO 전극에 코팅하여 450°C에서 30분 간 소성하여 제작하였다. 이렇게 제조된 광전극과 상대전극의 접합을 위해 surlyn film을 sealant로 사용하여 샌드위치 모양으로 조립하고, 120°C에서 가열시키면 surlyn film이 녹아 접합이 된다. 상대전극의 구멍을 통해 액체 전해질을 모세관 현상을 이용하여 주입시켜 완성하였으며, 실험에 사용한 염료감응 태양전지

Table 1. Conditions of RF magnetron sputtering to deposit AZO and AZO buffer layer at low temperature.

	Parameters	Conditions
Deposition	Target	ZnO:Al ₂ O ₃ [2 wt%]
	Substrate	Soda lime Glass
	Base pressure [Torr]	8×10 ⁻⁶
	Working pressure [Torr]	5×10 ⁻³
	Power	150
	Ambient gases	Ar:H ₂ [1%]
	Deposition temperature[°C]	100
	Time[min]	60 (AZO layer) 15 (AZO buffer layer)
Annealing	Ambient gas	H ₂
	Temperature[°C]	400
	Annealing time [min]	60
Etching	Hcl 1%, 10 sec	

의 유효면적은 0.25 cm²이다. 본 연구에 사용된 전해질은 iodolyte AN-50 (0.05 M I₂, 0.5 M LiI, 0.5 M tert-butylpyridine in acetonitrile)으로써 요오드 계열의 acetonitrile 매질의 휘발성 액체 전해질이다.

2.1 특성분석

상용 FTO와 제조된 AZO 박막의 결정구조 분석은 XRD (x-ray diffraction: Riraku, Max 2500H; Japan)를 사용하였으며 미세구조 특성 분석은 SEM (scanning electron microscope)을 사용하였다. 캐리어의 거동 분석을 위한 Hall 효과 측정은 Van Der Pauw 방법 (accent optical technology, HL5500PC; USA)을 이용하여 측정하였으며, 투과율 분석은 spectrophotometer (Scinco, S-3100; Korea)를 사용하여 300~1,100 nm 파장대에서 측정하였다. 염료감응 태양전지 셀은 1,000 W, Xe Arc lamp와 AM1.5 filter가 장착된 thermo-orial (USA) solar simulator system을 사용하여 개방전압 (V_{oc}), 광

전류 (I_{sc}), fill factor (FF), 에너지 변환효율 (η)을 각각 측정하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 투명전극의 미세구조 분석

그림 2는 FTO와 AZO 박막의 XRD 패턴을 보여주고 있다. 모든 AZO 박막 시료에서 약 34.4°의 (002) ZnO 피크를 나타내고 있으며 기판에 수직방향으로 c-축이 배향 증착되었음을 확인하였다. 그림 2에서 (a)는 AZO/glass의 XRD 피크를 보여준다. 이것의 피크 값은 약 75,000이었으며, 그림 (b)는 AZO buffer layer 위에 AZO 박막을 올린 것이며 그 피크값은 약 171,340이고, 그림 (c)는 textured AZO/AZO/glass의 피크로써 그림 (b) 보다 조금 낮은 133,159로 약간 감소된 피크값을 보인다. 버퍼층이 있는 시료 (그림 (b)와 (c))와 버퍼층이 없는 AZO/glass 시료의 피크값을 비교하면 버퍼층이 있는 시료에서 결정성이 더 좋다는 것을 알 수 있었다.

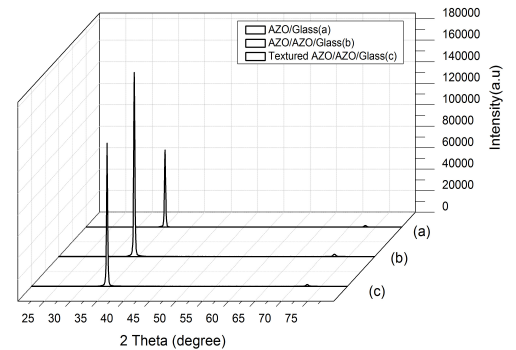


Fig. 2. XRD patterns of FTO and AZO thin films. (a) AZO/glass, (b) AZO/AZO/glass, (c) textured AZO/AZO/glass.

또한 (002)ZnO 피크에 대한 FWHM는 AZO/glass의 0.2364°에서 AZO/AZO/glass 및 textured AZO/AZO/glass 경우 0.2362°, 0.1968°로 각각 감소하였다. 이러한 결과는 buffer layer 제조 공정을 통해 AZO 박막 증착 과정에서 발생한 스트레스 감소에 따른 결정성의 증가로 판단된다 [8,9]. 또한 AZO 박막과 glass 기판 간의 격자상수 및 열팽창계수가 다르기 때문에 homo-buffer

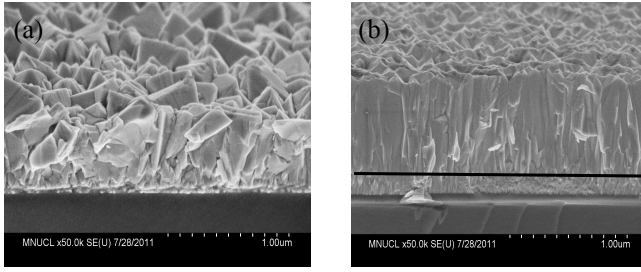


Fig. 3. FE-SEM cross-section image of FTO/glass and textured AZO/AZO/glass. (a) FTO/glass, (b) textured AZO/AZO/glass. The buffer layer is shown below the solid line in fig.(b).

layer가 필요하며, AZO buffer layer위에 AZO 박막을 증착하면 박막의 내부 응력을 감소시켜 c-축 배향성이 증가된 것을 보였다.

그림 3은 FTO와 textured AZO/AZO/glass의 SEM 사진이다. 그림에서 (a)와 (b)를 비교하면 그림 (b), 즉 textured AZO/AZO/glass는 c-축 방향으로 기둥이 잘 형성되어 AZO 박막이 잘 증착된 것을 확인할 수 있다. 그림 (b)에서 가장 아래쪽 검은색은 soda-lime 유리기판의 상면이고 흠이 파인 선은 유리면과 AZO 버퍼층의 경계이며 그 위쪽 검은색 직선까지가 AZO 버퍼층 (150 nm)이다. 버퍼층의 AZO는 자갈들이 모여있는 것처럼 보이는데 이것은 결정이 부분적으로 성장한 것을 나타내며, 그 위의 AZO 성막은 기둥처럼 보이면서 한덩어리 모습을 보여주고 있는데 이것은 결정 성장이 잘된 것을 나타내며 XRD의 결과와 비교하면 AZO 결정은 c-축 방향으로 결정이 잘 성장된 것을 알 수 있다.

3.2 투명전극의 전기적 특성 분석

그림 4는 FTO와 AZO 박막에 대한 비저항, 캐리어 농도, 그리고 이동도를 보여주고 있다. AZO/AZO/glass와 textured AZO/AZO/glass의 비저항은 각각 $4.343 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$, $3.079 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 이었다. 이 값들은 AZO/glass의 비저항 값 $9.852 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 과 비교하면 약 56%, 69% 감소하였다. 이러한 비저항의 감소는 박막 증착과정에서 발생한 스트레스 감소의 영향으로 판단되며 그림 2 XRD의 구조적 특성분석 결과와 일치한다. 또한 AZO/AZO/glass 및 textured AZO/AZO/glass의 캐리어 농도는 각각 $4.31 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$, $9.81 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 이고,

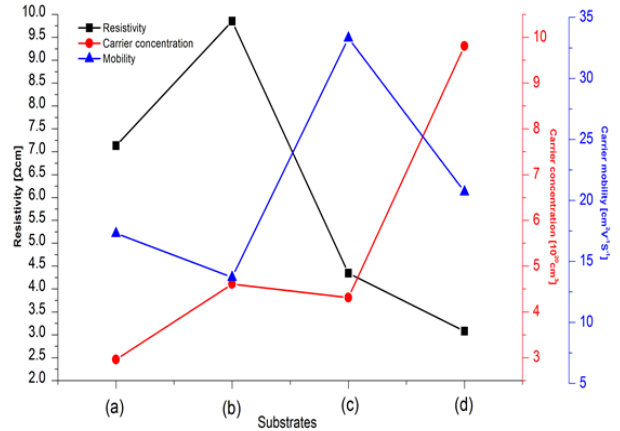


Fig. 4. The parameter changes in the electrical properties of the FTO and AZO films. (a) FTO/glass, (b) AZO/glass, (c) AZO/AZO/glass, (d) textured AZO/AZO/glass.

textured AZO/AZO/glass의 캐리어 농도는 AZO/glass의 $4.61 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 보다 약 2배 증가하였다. AZO/glass 이동도는 $13.7 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 이었으며 AZO/AZO/glass 및 textured AZO/AZO/glass의 경우 각각 $33.3 \text{cm}^2/\text{Vs}$, $20.7 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 로 증가하였다.

이 경우 버퍼층을 가진 두 샘플이 버퍼층이 없는 AZO/glass 보다 이동도가 큰 것을 알 수 있었다. 제조된 모든 시편 중에서 textured AZO/AZO/glass는 가장 낮은 비저항 값을 가지며 ($3.079 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$) 상용된 FTO의 비저항 값 $7.13 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 보다 56% 감소하였다. 이것은 버퍼층이 glass와 버퍼층 위에 증착되는 AZO 박막 사이의 스트레스를 감소시켜서 박막의 c-축 결정 배향성을 향상시켜서 이동도는 증가하고 비저항은 감소된 것으로 판단된다.

3.3 투명전극의 광학적 특성 분석

그림 5는 상용 FTO/glass와 제조된 AZO/glass, 에칭 전·후의 AZO/AZO/glass의 투과율을 Spectrophotometer로 분석한 것이다. 가시광 영역에서 제작된 모든 AZO 박막의 투과율은 상용되는 FTO/glass의 투과율 보다 우수하며, AZO/glass의 최대 투과율은 90.8%로써 FTO/glass의 최대 투과율 77.7% 보다 약 13% 높았다. AZO/AZO/glass의 최대 투과율은 86.4%이고, textured AZO/AZO/glass의 최대 투과율은 87.4%이었다. AZO/glass와 AZO/AZO/glass는 두께

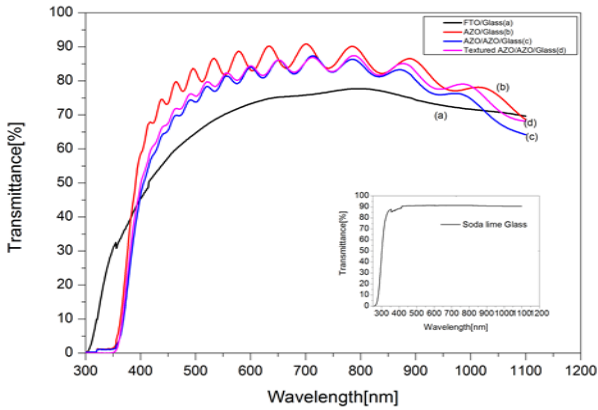


Fig. 5. The transmission spectra of the FTO and AZO films. (a) FTO/glass, (b) AZO/glass, (c) AZO/ AZO/glass, (d) textured AZO/AZO/glass.

차이가 있어서 상대적으로 얇은 AZO/glass의 투과율이 더 높게 나타났다. 염료감응 태양전지의 염료 분자는 태양광의 영역인 400-900 nm 파장대의 빛을 많이 흡수해야 한다. 400-900 nm 파장대에서 AZO/AZO/glass의 평균 투과율은 에칭 전 80.1%에서 에칭 후 81.8%로 증가하였다. 이러한 투과율 증가의 원인은 표면 texturing으로 빛의 흡수를 향상에 기인한 것으로 판단된다. 자외선 파장대에서 FTO/glass는 투과율은 약 35%이나, AZO형 박막은 자외선을 투과 시키지 않기 때문에 자외선 차단 효과가 있으며 이것은 Ru계 염료감응 태양전지가 자외선에 분해되는 현상을 막아서 Ru계 염료감응 태양전지의 수명을 연장시킬 수 있다.

3.4 염료감응 태양전지 광전변환 특성 분석

그림 6은 제작된 염료감응 태양전지의 I-V 특성곡선을 나타낸 것이다. 상용된 FTO/glass 및 제조된 AZO/glass, AZO/AZO/glass, textured AZO/AZO/glass 전극을 이용하여 0.25 cm²의 염료감응 태양전지를 제작하였다. 셀 효율과 fill factor는 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 계산하였다.

$$\eta_{eff} = \frac{P_{output}}{P_{input}} = \frac{V_{mpp} I_{mpp}}{P_{input}} = \frac{V_{oc} I_{sc}}{P_{input}} \cdot FF \quad (1)$$

$$FF = \frac{V_{max} I_{max}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2)$$

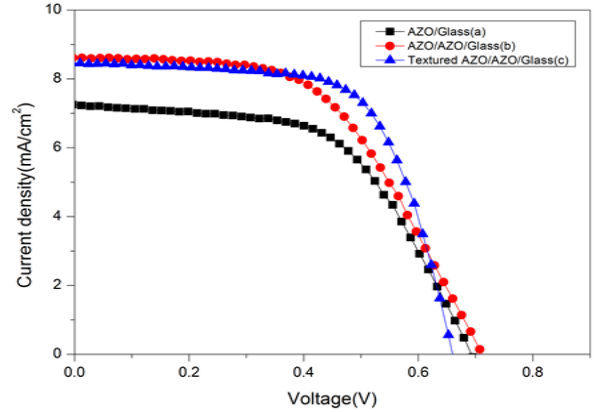


Fig. 6. I-V characteristics of dye-sensitized solar cells. (a) AZO/glass, (b) AZO/AZO/glass, (c) textured AZO/AZO/glass.

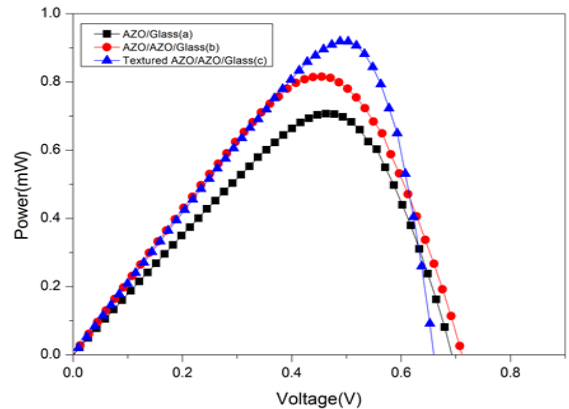


Fig. 7. Power-voltage characteristics of dye-sensitized solar cells. (a) AZO/glass, (b) AZO/AZO/glass, (c) textured AZO/AZO/glass.

그림 7은 제작된 염료감응 태양전지의 power-voltage 특성 곡선을 나타낸 것이다. Textured AZO/AZO/glass의 P_{max} 0.92 mW는 AZO/glass의 P_{max} 0.71 mW 보다 0.21 mW 향상되었다.

표 2는 기관에 따라 제작된 염료감응 태양전지의 광전변환 특성 분석을 나타낸 것이다. Textured AZO/AZO/glass 구조를 갖는 염료감응 태양전지의 V_{oc} , I_{sc} , fill factor, efficiency 각각 0.66 V, 2.12 mA, 65.8%, 3.68%로 나타났다. Textured AZO/AZO/glass 구조를 갖는 염료감응 태양전지의 I_{max} , V_{max} 각각

Table 2. DSSC characteristics of I-V curve in terms of variable glasses.

Item	Unit	AZO/Glass	AZO/ AZO/Glass	Textured AZO/AZO/Glass
V_{oc}	V	0.69	0.71	0.66
I_{sc}	mA	1.81	2.15	2.12
J_{sc}	mA/ cm ²	7.25	8.61	8.48
FF	%	56.3	53.3	65.8
I_{max}	mA	1.53	1.79	1.88
V_{max}	V	0.46	0.46	0.49
P_{max}	mW	0.71	0.82	0.92
η	%	2.83	3.26	3.68

1.88 mA, 0.49 V로 AZO/AZO/glass의 1.79 mA와 0.46 V 보다 향상되었다. 이것은 표면 texturing 으로 입사광의 반사율을 줄여서 입사광이 cell 안쪽으로 더 많이 굴절되기 때문에 염료가 더 많은 빛을 흡수하였기 때문이라고 판단된다. 또한 버퍼층을 갖는 textured AZO/AZO/glass의 전류밀도 (J_{sc})는 AZO/glass의 값보다 높았다. 이것은 버퍼층 위에 성장된 AZO 박막의 결정 배향성이 향상되어 이동도는 증가하고 비저항은 감소하기 때문에 TiO₂ 나노입자에서 투명전극의 계면으로 더 많은 전자들이 이동하였기 때문이다.

본 실험의 경우 textured AZO/AZO/glass 광전극을 갖는 염료감응 태양전지의 광전변환효율은 약 3.67% 이었으며, 이것은 상용 FTO/glass를 사용하여 동일한 실험 방법으로 제작된 염료감응 태양전지의 효율 4.52% 보다 낮았다. 그 이유는, 실험에 사용된 염료 용매는 산성을 띄기 때문에 염료 흡착과정에서 AZO 박막의 특성이 손실되었을 경우와 Nakao 등은 AZO 박막에 TiO₂를 소성하기 위한 열처리를 할 때 글라스와 AZO박막의 열팽창 계수가 달라서 박막의 해리가 발생한다고 하였으며, 필자는 이 과정에서 AZO 전극의 부분적인 왜곡과 변형 그리고 미세 균열에 의한 전류 흐름의 장애가 발생하여 효율이 떨어진 것으로 판단된다 [7]. 본 논문에서는 열처리 온도를 다른 논문에서 많이 사용하는 450°C로 하였으나 다음 연구에서는 열처리 온도에 따른 박막해리와 열처리 전후의 전기 전도도를 측정하여 공정 개선을 통하여

효율을 높일 계획이다.

본 연구에서 FTO 전극 대신에 AZO를 사용하려는 시도는 AZO/glass, AZO/AZO/glass 그리고 textured AZO/AZO/glass를 제작하여 전기적, 광학적, 광전변환 특성을 고려할 때 textured AZO/AZO/glass가 가장 대체 조건에 적합 한 것을 알게 되었고, textured AZO 박막을 염료감응 태양전지의 투명전극으로의 활용이 가능할 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 RF magnetron sputtering법을 이용하여 3가지 종류의 AZO 투명 전도박막 (AZO/glass, AZO/AZO/glass, 그리고 에칭하여 textured된 AZO/AZO/glass)을 제조하여 각 박막의 XRD, 전기적·광학적· 광전 변환 효율의 특성을 측정 비교하였으며, FTO 박막을 제조하여 3가지 종류의 AZO 박막과 광학적 특성 및 광전 효율을 비교하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 제작된 3가지 AZO 박막의 시편들에서 XRD의 2 θ 값은 34.4°에서 주 피크를 보여 (002) ZnO c-축 우선 배양 특성을 나타냈으며, AZO buffer layer위에 증착된 AZO 박막 (AZO/AZO/glass)과 에칭하여 textured AZO/AZO/glass들의 XRD 피크들은 버퍼층이 없는 AZO/glass 박막과 비교할 때 약 2배 정도 피크가 증가하여 버퍼층을 사용하여 박막을 제조하는 것이 버퍼층이 없는 박막보다 더 우수한 결정 성장을 보인다는 것을 알 수 있었다. 이것은 유리기판과 AZO 막 사이에서 발생하는 이종 물질 간의 박막 형성 시 발생하는 스트레스를 버퍼층이 완화시키기 때문이다.

2) Hall 효과 분석을 통해 버퍼층이 있는 두 AZO 박막들이 버퍼층이 없는 AZO 박막보다 전기적 특성이 우수하였다. 3종류의 시편 중에서 textured AZO/AZO/glass는 가장 낮은 비저항 값 $3.079 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 과 가장 높은 캐리어 농도 $9.81 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 를 보였다.

3) 제작된 모든 AZO 박막은 상용 FTO/glass의 투과율 77.7% 보다 우수하였다. Textured AZO/AZO/glass의 최대 투과율은 87.4%로 AZO/AZO/glass (86.4%) 보다 높았으며, 400-900 nm 영역에서 평균 투과율은 에칭 전 80.1%에서 에칭 후 81.8%로 증가하였다.

4) 3종류 AZO 투명 전극을 사용하여 염료감응 태양전지를 제작하여 각각의 광전 변환 효율을 측정한 결과 textured AZO/AZO/glass 전극이 3.68%로 AZO/AZO/glass (3.26%)와 AZO/glass 전극 (2.83%) 보다 높아서 에칭 효과

를 확인할 수 있었다. 그러나 상용되는 FTO/glass 전극으로 제조된 염료감응 태양전지의 광전변환효율 4.52%에 비해 낮았다. 이것에 대하여 Nakao 등은 TiO₂를 소성하기 위해 450°C에서 열처리를 할 때 글라스와 AZO 박막의 열전도도가 달라서, TiO₂-coated dye 박막의 부분적인 해리가 발생되어 광전류가 줄었기 때문이라고 주장하였다. 필자도 이 과정에서 AZO 전극의 부분적인 왜곡과 변형 그리고 미세 균열에 의한 전류 흐름의 장애가 발생하여 효율이 떨어진 것으로 판단된다.

위 측정 결과를 비교할 때 염료감응 태양전지의 상용 FTO/glass 투명 전극은 textured AZO/AZO/ glass 투명전극으로 대체가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 원광대학교 교내 연구비 지원을 받아 수행되었다.

REFERENCES

- [1] B. O. Regan and M. Gratzel, *Nature*, **353**, 737 (1991).
- [2] T. Kato and S. Hayase, *J. Electrochem. Soc.*, **154**, B117 (2007).
- [3] Y. H. Kim, K. S. Lee, T. S. Lee, B. K. Cheong, and T. Y. Seong, *Current Applied Physics.*, **10**, S278 (2010).
- [4] S. T. Hwang and C. B. Park, *Trans. Electr. Electron. Mater.*, **11**, 279 (2010).
- [5] C. Jeong, H. S. Kim, D. R. Chang, and K. Kamisako, *J. Appl. Phys.*, **47**, 5656 (2008).
- [6] J. N. Ding, F. Ye, N. Y. Yuan, C. B. Tan, Y. Y. Zhu, G. Q. Ding, and Z. H. Chen, *Applied Surface Science*, **257**, 1420 (2010).
- [7] N. Hirahara, B. Onwona-Agyeman, and M. Nakao, *Thin Solid Films*, doi:10.1016/j.tsf.2011.08.100 (2011).
- [8] K. M. Kim, E. M. Jin, and C. B. Park, *J. KIEEME*, **19**, 901 (2006).
- [9] G. J. Fang, D. Li, and B. L. Yao, *Thin Solid Films*, **418**, 156 (2002).