

논문 2014-51-6-9

고 에너지 전자빔 조사된 IGZO 박막의 광 투과도에 대한 연구 (A Study on the Optical Transmittance of High-energy Electron-beam Irradiated IGZO Thin Films)

윤 의 중*

(Eui-Jung Yun[Ⓢ])

요 약

본 연구에서는 radio frequency(rf) 마그네트론 스퍼터링 기술을 이용하여 Corning 유리 기판에 증착된 InGaZnO (IGZO) 박막의 광 투과도 특성에 고 에너지 전자빔 조사(high-energy electron beam irradiation (HEEBI))이 미치는 영향을 연구하였다. 저온에서 증착된 IGZO 박막은 공기 중 과 상온 조건에서 0.8 MeV의 전자빔 에너지와 $1 \times 10^{14} - 1 \times 10^{16}$ electrons/cm² dose를 사용하여 HEEBI 처리 되었다. IGZO 박막의 광 투과도는 ultraviolet visible near-infrared spectrophotometer (UVVIS)로 측정되었다. HEEBI 처리 된 IGZO/유리 이중층의 총 광 투과도에서 HEEBI 처리된 IGZO 단일막 만의 광 투과도를 분리하는 방법을 상세히 연구하였다. 실험 결과로부터 1×10^{14} electrons/cm² 의 적절한 dose로 처리된 HEEBI가 IGZO 박막의 투명도를 극대화 시킬 수 있었다. 또한 이렇게 적절한 dose로 처리된 HEEBI가 광학 밴드갭(E_g)을 3.38 eV에서 3.31 eV로 감소시킬 수 있었다. 이러한 E_g 의 감소는 적절한 dose로 공기 중 상온에서 처리된 HEEBI가 진공 중 고온에서 처리된 열적 annealing 효과와 유사함을 제시하고 있다.

Abstract

In this paper, we investigated the effects of high-energy electron beam irradiation (HEEBI) on the optical transmittance of InGaZnO (IGZO) films grown on transparent Corning glass substrates, with a radio frequency magnetron sputtering technique. The IGZO thin films deposited at low temperature were treated with HEEBI in air at room temperature (RT) with an electron beam energy of 0.8 MeV and doses of $1 \times 10^{14} - 1 \times 10^{16}$ electrons/cm². The optical transmittance of the IGZO films was measured using an ultraviolet visible near-infrared spectrophotometer (UVVIS). The detailed estimation process for separating the transmittance of HEEBI-treated IGZO films from the total transmittance of IGZO films on transparent substrates treated with HEEBI is given in this paper. Based on the experimental results, we concluded that HEEBI with an appropriate dose of 10^{14} electrons/cm² causes a maximum increase in the transparency of IGZO thin films. We also concluded that HEEBI treatment with an appropriate dose shifted the optical band gap (E_g) toward the lower energy region from 3.38 to 3.31 eV. This E_g shift suggested that HEEBI in air at RT with an appropriate dose acts like a thermal annealing treatment in vacuum at high temperature.

Keywords : High-energy electron beam irradiation (HEEBI), InGaZnO (IGZO) films, Optical transmittance, rf magnetron sputtering.

* 정회원, 호서대학교 정보통신공학과
(Department of Information and Communication
Engineering, Hoseo University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: ejyun@hoseo.edu)

※ 이 논문은 2012년도 호서대학교의 재원으로 학술연구
구비 지원을 받아 수행된 연구임.

(과제번호: 2012-0260)

접수일자: 2014년01월28일, 수정일자: 2014년05월09일

수정완료: 2014년05월24일

I. 서 론

현재 indium-gallium-zinc oxide (IGZO) 박막은 유리나 휘어지는 기판 상에 active matrix 유기발광다이오드(active matrix organic light emission diode (AMOLED)) 구동 투명박막 트랜지스터

(transparent thin film transistor (TTFT)) 제조시 활성층(active layer)으로 사용되므로 많은 주목을 받고 있는데 그 주된 이유는 IGZO 박막이 큰 field-effect mobility, 대기에서의 안정성, 우수한 균일성(uniformity), 가시광선에 대한 좋은 투명성, 비정질(amorphous) 성질, 그리고 낮은 제조공정 온도를 들 수 있다.^[1-8]

또한 최근에 상온(room temperature)에서의 고 에너지 전자빔 조사 (high-energy electron-beam irradiation (HEEBI))처리로 무도핑(undoped) ZnO 박막들^[9-13] 과 Al이 도핑된 ZnO (AZO) 박막들^[14, 15]의 광학적 성질, 구조적 성질, 그리고 전기적 성질 등이 크게 변하는 몇몇 연구들이 보고되고 있다. 뿐 만 아니라 X선, 감마선, 전자빔들과 같은 방사선들의 방사량이 높은 환경에서도 고성능이고 안정성(stability)이 있는 IGZO 기반의 TTFT 또한 반드시 필요하므로 방사선들의 방사량이 높은 환경에서 IGZO 기반의 TTFT들의 전기적, 광학적, 구조적 특성의 변화 관련 연구는 IGZO 기반의 재료 및 소자들의 우주공간에로의 응용을 위하여 아주 중요해지고 있다.^[10] 그러나 현재 IGZO 박막의 경우에 상온에서의 HEEBI 처리가 radio-frequency (rf) 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착된 IGZO 박막의 특성들에 미치는 영향에 대한 체계화 된 연구는 거의 전무한 실정이다. 특히 IGZO박막의 가시광선에 대한 투명성은 TTFT의 특성 중 중요한 파라미터 중의 하나이므로 HEEBI 처리된 IGZO 박막의 광 투과도에 대한 상세한 연구는 중요하다고 하겠다.

따라서 본 연구의 목적은 rf 마그네트론 스퍼터링 기술을 이용하여 상온에서 coming 유리(glass) 기판에 증착된 IGZO 박막의 광 투과도 특성에 고 에너지 전자빔 조사(HEEBI)가 미치는 영향을 연구하였다. 보통 IGZO 박막은 glass 기판 위에 증착되어 IGZO/glass 기판의 이중층을 이루므로 HEEBI 처리는 이중층을 이루는 IGZO 와 glass 기판 각각 층에 동시에 영향을 미치게 된다. 그 결과 측정된 IGZO/glass 기판 이중층의 광 투과도 결과로부터 순수한 IGZO 박막만의 광 투과도를 분리해 내는 작업이 반드시 필요하게 된다. 본 연구에서는 이러한 분리 작업을 상세히 기술하여 HEEBI가 순수하게 IGZO 박막만의 광 투과에 미치는 영향을 가

장 정확하게 조사하도록 하였다.

II. 실험

본 연구에서 IGZO 박막 증착에는 rf magnetron sputtering 방법을 이용하였다. Target은 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}=1:1:1$ at%의 비율을 갖는 IGZO를 이용하고, reaction gas로는 Ar(99.999% 순도 5N)과 O_2 (99.999% 순도 5N)를 이용하였다. 기판은 대 면적 디스플레이의 응용을 생각해서 400 μm 두께의 alkaline이 없는 Corning glass 기판을 이용하였다. rf power는 400 W,

표 1. HEEBI가 IGZO 박막의 광학적 성질(광 투과도)에 미치는 영향을 연구할 IGZO 박막 증착을 위한 공정조건

Table 1. The process condition for the fabrication of IGZO thin films to explore the effects of HEEBI treatment on the optical property (optical transmittance) of IGZO thin films.

Substrate		Corning Glass
Working Pressure (mTorr)		0.5
Film Thickness (nm)		100
Gas	Ar(sccm)	32
	O_2 (sccm)	8
O_2 Fraction		0.2
RF Power (W)		400
Substrate Temperature		Room Temperature
Sample Rotation (rpm)		10

표 2. HEEBI가 IGZO 박막의 광학적 성질(광 투과도)에 미치는 영향을 연구하기 위한 IGZO 박막의 HEEBI 처리조건

Table 2. The condition of HEEBI treatment for IGZO thin films to explore the effects of HEEBI treatment on the optical property (optical transmittance) of IGZO thin films.

Sample	Bilayers (IGZO/Corning Glass), Corning Glass
Treatment Environment	Air
Electron-beam Energy (MeV)	0.8
Dose (electrons/cm ²)	$1 \times 10^{14} - 1 \times 10^{16}$
Treatment Temperature	Room Temperature

증착 시 압력은 0.5 mtorr 정도의 값을 갖게 하며, 증착은 상온에서 수행하였다. Ar의 주입량은 32 sccm으로 하고, O₂ 주입량은 8 sccm으로 하여 O₂ fraction(= $\frac{O_2}{O_2 + Ar}$)을 0.2로 설정하였다. 본 연구에서 사용된 공정조건은 표 1에 제시하였다. IGZO 박막의 두께는 FESEM으로 관찰하였다.

위에서 기술한 최적의 공정조건을 사용하여 얻어지는 IGZO/glass 기판의 이중층 과 glass 기판 자체는 공기 중 과 상온 조건에서 0.8 MeV의 전자빔 에너지와 $1 \times 10^{14} - 1 \times 10^{16}$ electrons/cm² 범위의 여러 가지 dose를 사용하여 고 에너지 전자빔 조사(HEEBI)를 수행하였다. 본 연구에서 사용된 HEEBI 처리 조건을 표 2에 요약 하였다.

제작된 (as-prepared) IGZO 박막/glass 기판의 이중층 및 glass 기판 자체의 광 투과도, 그리고 HEEBI 처리된 IGZO 박막/glass 기판의 이중층 및 HEEBI 처리된 glass 기판 자체의 광 투과도는 ultraviolet visible near-infrared spectrophotometer (UVVIS)로 각각 측정하여 연구의 목적인 HEEBI 처리가 IGZO 박막의 광 투과도에 미치는 영향 연구에 활용하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 1은 무 처리(untreated)와 HEEBI 처리된 glass 기판의 단일층, 무 처리와 HEEBI 처리된 IGZO/glass 기판의 이중층 (bilayer) (glass 기판 위에 증착된 IGZO 박막의 이중층)에 대한 광 투과도 (T) 대(versus) 파장 (λ) 특성을 나타낸다. 여기서 HEEBI 수행시의 dose는 $1 \times 10^{14} - 1 \times 10^{16}$ electrons/cm² 이었다. 그림 1에서 알 수 있듯이 glass 기판의 경우, 무 처리된 glass 기판의 T (T_G)는 파장이 감소해도 90 % 정도로 일정한 반면에 HEEBI 처리된 glass의 T (T_{G(HEEBI)})는 dose양이 증가 할수록 파장이 감소함에 따라 지수함수 적으로 더 크게 감소하는 경향을 보이고 있다. 이것은 무 처리된 glass가 투명한 색을 띠다가 HEEBI 처리 후에 옅은 노란 색을 띠는 것과 관련이 있다. 즉, 큰 dose를 형성하는 고 에너지의 전자들로 HEEBI 처리 하면 glass 기판에 점 결함(point defects) 과 disorder가 생겨 기판 표면에 강한 산란(scattering)과 흡수가 발생하여 T를 감소시키는 결과를

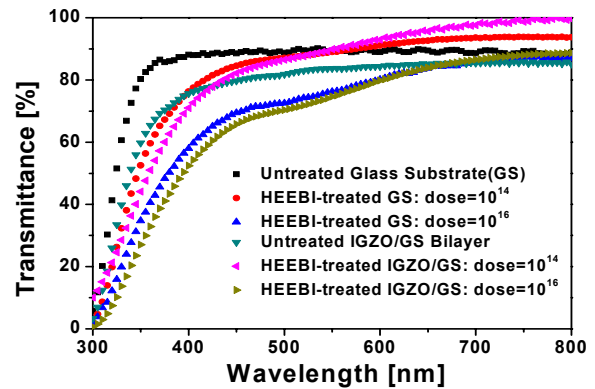


그림 1. 무 처리 와 HEEBI 처리 된 glass 기판의 단일층, 무 처리와 HEEBI 처리 된 IGZO/glass 기판의 이중층에 대한 광 투과도 (T) - 파장 (λ) 특성

Fig. 1. The optical transmittance (T) versus wavelength (λ) curves of untreated and HEEBI-treated glass substrates, untreated and HEEBI-treated IGZO/glass bilayers. Here, doses of $1 \times 10^{14} - 1 \times 10^{16}$ electrons/cm² were used for HEEBI.

초래함을 생각할 수 있다. 그러나 IGZO/glass의 이중층의 경우 그림 1에서 알 수 있듯이 1×10^{14} 의 적은 dose로 HEEBI 처리 했을 때는 425 nm 이상의 파장에서 무 처리 했을 때에 비해 T가 크게 증가 하는 경향을 보이다가 1×10^{16} 의 큰 dose로 HEEBI 처리 했을 때 다시 무처리 했을 때에 비해 T가 크게 감소하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 여기서 HEEBI 처리된 IGZO/glass 기판 이중층의 T (T_{IGZO/G(HEEBI)})는 HEEBI 처리의 IGZO 및 glass 기판에 미치는 영향을 동시에 반영하고 있다. 따라서 T_{IGZO/G(HEEBI)} 특성으로부터 HEEBI 처리가 glass 기판에 미치는 영향을 제거(HEEBI 처리된 glass 기판의 T (T_{G(HEEBI)})를 제거) 함으로서 HEEBI 처리된 IGZO 단일막 자체의 T (T_{IGZO(HEEBI)}) 특성을 분리하는 연구가 중요하게 되어 본 연구에서 수행하였다. 이를 위하여 그림 2를 고려하였다. 위의 그림 2에서 I_G와 I_{G(HEEBI)}는 각각 무 처리된 glass 기판 과 HEEBI 처리된 glass 기판을 투과한 광의 세기를, I_{IGZO}와 I_{IGZO(HEEBI)}는 각각 무 처리된 IGZO 단일막 과 HEEBI 처리된 IGZO 단일막을 투과한 광의 세기를, 그리고 I_{IGZO/G}와 I_{IGZO/G(HEEBI)}는 각각 무 처리된 IGZO/glass 이중층 과 HEEBI 처리된 IGZO/glass 이중층을 투과한 광의 세기를 나타낸다. 또한 t_G, t_{IGZO}, t_B는 각각 glass

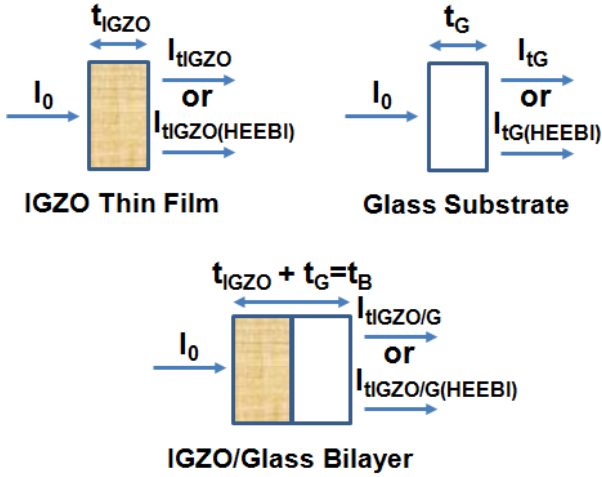


그림 2. 입사광 세기 I_0 (photons/cm²-s)가 여러 가지 샘플에 입사되는 현상을 나타내는 개략도. 여기서 I_G 와 $I_{IG(HEEBI)}$, I_{IGZO} 와 $I_{IGZO(HEEBI)}$, 그리고 $I_{IGZO/G}$ 와 $I_{IGZO/G(HEEBI)}$ 는 각각 무처리와 HEEBI 처리된 glass 기판을 투과한 광세기, 무처리와 HEEBI 처리된 IGZO 박막을 투과한 광세기, 그리고 무처리와 HEEBI 처리된 IGZO/glass 이중층을 투과한 광세기를 나타낸다

Fig. 2. Schematic diagrams showing that an incident light beam of intensity I_0 (photons/cm²-s) is directed at various samples. Here, I_G and $I_{IG(HEEBI)}$, I_{IGZO} and $I_{IGZO(HEEBI)}$, and $I_{IGZO/G}$ and $I_{IGZO/G(HEEBI)}$ are the intensities of light transmitted through untreated and HEEBI-treated glass substrates, through untreated and HEEBI-treated IGZO thin films, and through untreated and HEEBI-treated IGZO/Glass bilayers, respectively.

기판, IGZO 단일막, IGZO/glass 이중층의 두께를 나타낸다. 그림 2에서 무 처리 된 경우의 I_G , I_{IGZO} , $I_{IGZO/G}$ 는 그림 2의 모든 계면에서의 반사 효과를 고려하면 다음과 같이 표현이 가능하다.^[16]

$$I_{tG} = I_0 e^{-\alpha_{G0} t_G} (1 - R_G)^2 \quad (1)$$

$$I_{tIGZO} = I_0 e^{-\alpha_{IGZO0} t_{IGZO}} (1 - R_{IGZO})^2 \quad (2)$$

$$I_{tIGZO/G} = I_0 e^{-\alpha_{IGZO0} t_{IGZO}} (1 - R_{IGZO}) e^{-\alpha_{G0} t_G} \times (1 - R_{IGZO/G}) (1 - R_G) \quad (3)$$

위의 식 (1) - (3)에서 $t_G = 400 \mu\text{m}$, $t_{IGZO} = 0.1 \mu\text{m}$, $t_B = 400.1 \mu\text{m}$ 이고 α_{G0} 와 α_{IGZO0} 는 각각 무 처리된 glass 기판과 무 처리된 IGZO 박막의 흡수계수(absorption coefficient)를 나타내며, R_G 는 glass 기판의 반사율

(reflectance), R_{IGZO} 는 IGZO 단일막의 반사율, 그리고 $R_{IGZO/G}$ 는 IGZO 박막과 glass 기판 사이에서의 내부 반사율을 나타낸다. 또한 R_G , R_{IGZO} , $R_{IGZO/G}$ 는 다음과 같이 표현 될 수 있다.^[17]

$$R_G = \left(\frac{n_G - n_{air}}{n_G + n_{air}} \right)^2 \quad (4)$$

$$R_{IGZO} = \left(\frac{n_{IGZO} - n_{air}}{n_{IGZO} + n_{air}} \right)^2 \quad (5)$$

$$R_{IGZO/G} = \left(\frac{n_G - n_{IGZO}}{n_G + n_{IGZO}} \right)^2 \quad (6)$$

또한 위의 식 (4) - (6)에서 n_G 는 glass 기판의 굴절률(refractive index = 1.52^[18]), n_{IGZO} 는 IGZO 단일막의 굴절률(= 2)^[19, 20], 그리고 n_{air} 는 공기의 굴절률(= 1)을 나타낸다. 이 값들을 위의 식 (4) - (6)에 대입하면 R_G , R_{IGZO} , $R_{IGZO/G}$ 는 각각 0.04, 0.11, 0.02 값을 갖는다. 이 때 투과광 세기/입사광 세기의 비로 정의되는 광 투과도 T는 무 처리된 샘플에 대하여 식 (1) - (3)을 이용하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_G = \frac{I_{tG}}{I_0} = e^{-\alpha_{G0} t_G} (1 - R_G)^2 \quad (7)$$

$$T_{IGZO} = \frac{I_{tIGZO}}{I_0} = e^{-\alpha_{IGZO0} t_{IGZO}} (1 - R_{IGZO})^2 \quad (8)$$

$$\begin{aligned} T_{IGZO/G} &= \frac{I_{tIGZO/G}}{I_0} = e^{-\alpha_{IGZO0} t_{IGZO}} (1 - R_{IGZO}) \\ &\times e^{-\alpha_{G0} t_G} (1 - R_{IGZO/G}) (1 - R_G) \\ &= T_{IGZO} \times T_G \times \frac{1 - R_{IGZO/G}}{(1 - R_{IGZO})(1 - R_G)} \\ &\approx T_{IGZO} \times T_G \times 1.15 \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 T_G , T_{IGZO} , $T_{IGZO/G}$ 는 각각 무 처리 된 glass 기판의 광 투과도, 무 처리 된 IGZO 단일막의 광 투과도, 무 처리 된 IGZO/glass 이중층의 광 투과도를 나타낸다. T_{IGZO} 는 그림 1에 있는 T_G 와 $T_{IGZO/G}$ 의 값들과 식 (9)를 이용하여 얻어졌고 그 결과는 그림 3에 나타나 있다.

또한 그림 2에서의 HEEBI 처리 된 경우에도 HEEBI 처리 된 glass 기판의 광 투과도 $T_{G(HEEBI)}$, HEEBI 처리

된 IGZO 단일막의 광 투과도 $T_{IGZO(HEEBI)}$, HEEBI 처리된 IGZO/glass 이중층의 광 투과도 $T_{IGZO/G(HEEBI)}$ 는 위의 식 (7)-(9)와 유사하게 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{G(HEEBI)} = \frac{I_{tG(HEEBI)}}{I_0} = e^{-\alpha_G t_G} (1 - R_G)^2 \quad (10)$$

$$T_{IGZO(HEEBI)} = \frac{I_{tIGZO(HEEBI)}}{I_0} = e^{-\alpha_{IGZO} t_{IGZO}} \times (1 - R_{IGZO})^2 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} T_{IGZO/G(HEEBI)} &= \frac{I_{IGZO/G(HEEBI)}}{I_0} = e^{-\alpha_{IGZO} t_{IGZO}} \times \\ &(1 - R_{IGZO}) e^{-\alpha_G t_G} (1 - R_{IGZO/G}) (1 - R_G) \\ &= T_{IGZO(HEEBI)} \times T_{G(HEEBI)} \times \frac{1 - R_{IGZO/G}}{(1 - R_{IGZO})(1 - R_G)} \\ &\approx T_{IGZO(HEEBI)} \times T_{G(HEEBI)} \times 1.15 \end{aligned} \quad (12)$$

위의 식 (10) - (12)에서 α_G 와 α_{IGZO} 는 각각 HEEBI 처리된 glass 기판 과 HEEBI 처리된 IGZO박막의 흡수계수(absorption coefficient)를 나타낸다. 또한 $T_{IGZO(HEEBI)}$ 도 그림 1에 있는 $T_{G(HEEBI)}$ 와 $T_{IGZO/G(HEEBI)}$ 의 값들 과 식 (12)를 이용하여 얻어졌고 그 결과는 그림 3에 나타나 있다. 그림 3에서 우선 HEEBI 처리된

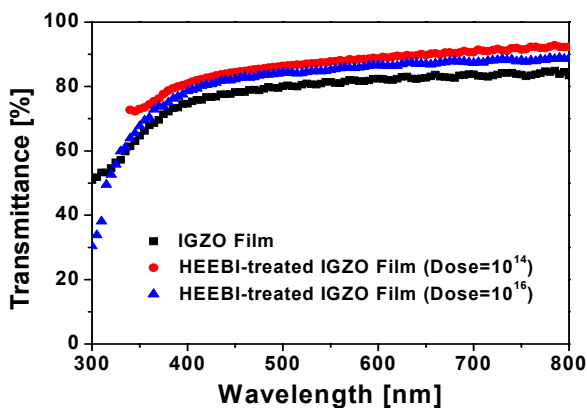


그림 3. 식 (9) 와 식 (12)를 사용하여 그림 1 결과로부터 유도된 무 처리 와 HEEBI 처리된 IGZO 단일막에 대한 광 투과도 (T) - 파장 (λ) 특성

Fig. 3. The optical transmittance (T) versus wavelength (λ) curves of untreated and HEEBI-treated IGZO thin films deduced from the results in Fig. 1 by making use of Eqs. (9) and (12). Here, reflection effects at all interfaces were considered.

IGZO 단일막의 T는 무 처리된 IGZO 단일막의 T 보다 더 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 이는 HEEBI 처리가 IGZO 박막의 광 투과도를 향상 시키는 역할을 했음을 알 수 있다. 또한 1×10^{14} 의 적은 dose로 HEEBI 처리했을 때의 T가 1×10^{16} 의 큰 dose로 HEEBI 처리했을 때의 T 보다 더 커서 적정량의 dose로 HEEBI 처리했을 때 광 투과도를 극대화 할 수 있음을 알 수 있다.

HEEBI 처리된 IGZO박막의 흡수계수 α_{IGZO} 는 그림

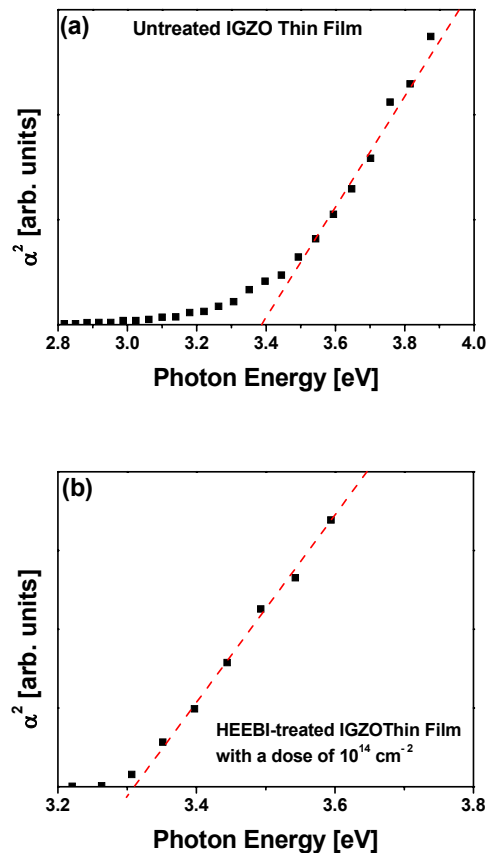


그림 4. 식 (8), 식 (11) 그리고 식 (13)를 사용하여 그림 3 결과로부터 유도된 (a) 무 처리 와 (b) HEEBI 처리(dose= 1×10^{14} electrons/cm²)된 IGZO 단일막에 대한 흡수계수 제곱(α^2) - 광자에너지($h\nu$) 특성

Fig. 4. The square of the absorption coefficient (α^2) versus photon energy ($h\nu$) characteristics of (a) untreated and (b) HEEBI-treated IGZO thin films obtained from the results in Fig. 3 by making use of Eqs. (8), (11), and (13) in the case in which a low dose of 1×10^{14} electrons/cm² was used for the HEEBI treatment. Here, the optical band gap was determined by using the extrapolation method.

3의 $T_{IGZO(H\text{EEBI})}$ 값 과 식 (11)을 이용하여 얻을 수 있다. 같은 방법으로 무 처리된 IGZO박막의 흡수계수 α_{IGZO0} 도 그림 3의 T_{IGZO} 값 과 식 (8)을 이용하여 얻을 수 있다. 또한 IGZO 박막의 광학 밴드갭(E_g)은 이러한 흡수계수들 과 다음의 식 (13)을 사용하여 구할 수 있다.^[21]

$$\alpha(h\nu) = C\sqrt{h\nu - E_g} \quad (13)$$

여기서 α 는 IGZO 박막의 흡수계수 (α_{IGZO} 또는 α_{IGZO0}), $h\nu$ 는 광자 에너지, C 는 전자와 정공들의 유효질량과 관련된 상수를 나타낸다. 위의 식 13으로부터 E_g 가 감소하면 박막샘플의 흡수계수 α 는 증가하는 것을 알 수 있고 그 결과 광투과율은 감소하게 되어 박막샘플의 투명도가 더 감소되는 것을 알 수 있다.

그림 4(a)는 그림 3의 결과, 식 (8) 과 식 (13)을 이용하여 얻어진 무 처리된 IGZO박막의 α^2 대(versus) $h\nu$ 특성곡선을 나타내고, 그림 4(b)는 1×10^{14} 의 적은 dose로 HEEBI 처리된 IGZO박막의 경우(광 투과도가 최대일 경우)에 그림 3의 결과 와 식 (11) 및 식 (13)을 이용하여 구한 α^2 대 $h\nu$ 특성곡선을 나타낸다. 그림 4에서는 E_g 를 구하기 위하여 extrapolation 방법^[16]을 사용하였다. 그림 4에 나타낸 대로 무 처리된 IGZO 박막 과 1×10^{14} 의 적정량의 dose로 HEEBI 처리된 IGZO 박막의 E_g 는 각각 3.38 eV 와 3.31 eV 이었다. 따라서 1×10^{14} 의 적정량의 dose로 HEEBI 처리가 IGZO 박막의 E_g 를 감소시켰음을 알 수 있다. 이러한 유사한 E_g 의 감소 경향은 IGZO 박막을 400 °C의 온도로 진공상태에서 30분 동안 annealing 한 경우에도 발견되므로^[22] 1×10^{14} 의 dose로 상온에서 공기 중에 HEEBI 처리 하는 것은 400 °C의 고온으로 진공상태에서 30분간 annealing 하는 효과와 유사함을 알 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 rf 마그네트론 스퍼터링 기술을 이용하여 상온에서 glass 기판에 증착된 IGZO 박막의 광 투과도 특성에 HEEBI가 미치는 영향을 연구하였다. IGZO/glass의 이중층의 광 투과도 결과로부터 순수한 IGZO 박막만의 광 투과도를 분리해 내는 작업을 상세히 기술하여 HEEBI가 순수하게 IGZO 박막만의 광 투

과에 미치는 영향을 가장 정확하게 조사하도록 하였다. 실험결과로부터 HEEBI 처리가 IGZO 박막의 광 투과도를 향상 시키는 역할을 했음을 알 수 있다. 또한 1×10^{14} 의 적정량의 dose로 HEEBI 처리 했을 때 광 투과도를 극대화 할 수 있음을 알 수 있다. 무 처리된 IGZO 박막 과 1×10^{14} 의 적정량의 dose로 HEEBI 처리된 IGZO 박막의 E_g 는 각각 3.38 eV 와 3.31 eV 이었다. 따라서 1×10^{14} 의 적정량의 dose로 HEEBI 처리가 IGZO 박막의 E_g 를 감소시켰음을 알 수 있었다. 또한 1×10^{14} 의 dose로 상온에서 공기 중에 HEEBI 처리 하는 것은 400 °C의 고온으로 진공상태에서 30분간 annealing 하는 효과와 유사함을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] S-H. Kuk, S-Y. Lee, S-J. Kim, B. Kim, S-J. Park, J-Y. Kwon, and M-K. Han, IEEE Electron Device Lett. 33, 1279 (2012).
- [2] M. D. H. Chowdhury, P. Migliorato, and J. Jang, Appl. Phys. Lett. 102, 143506 (2013).
- [3] A. U. Adler, T. C. Yeh, D. B. Buchholz, R. P. H. Chang, and T. O. Mason, Appl. Phys. Lett. 102, 122103 (2013).
- [4] P. Migliorato, M. D. H. Chowdhury, J. G. Um, M. Seok, and J. Jang, Appl. Phys. Lett. 101, 123502 (2012).
- [5] Y-M. Kim, K-S. Jeong, H-J. Yun, S-D. Yang, S-Y. Lee, Y-C. Kim, J-K. Jeong, H-D. Lee, and G-W. Lee, Appl. Phys. Lett. 102, 173502 (2013).
- [6] Y. Kikuchi, K. Nomura, H. Yanagi, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono, Thin Solid Films 518, 3017 (2010).
- [7] S-Y. Huang, T-C. Chang, S. Y. Huang, M-C. Chen, S-W. Tsao, S-C. Chen, C-T. Tsai, and H-P. Lo, Solid-State Electron. 61, 96 (2011).
- [8] K-S. Son, J. S. Park, T. S. Kim, H-S. Kim, S-J. Seo, S-J. Kim, J. B. Seon, K. H. Ji, J. K. Jeong, M. K. Ryu, and S. Lee, Appl. Phys. Lett. 102, 122108 (2013).
- [9] L. S. Vlasenko and G. D. Watkins, Phys. Rev. B: Condens. Matter. Mater. Phys. 71, 125210 (2005).
- [10] E. Gür, H. Asil, C. Coşkun, S. Tüzemen, K. Meral, Y. Onganer, and K. Şerifoğlu, Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B 266, 2021 (2008).
- [11] E-J. Yun, J. W. Jung, C. I. Cheon, J. S. Kim, Y. H. Han, M-W. Kim, and B. C. Lee, J. Mater.

Res. 24, 1785 (2009).

- [12] E-J. Yun, J. W. Jung, Y. H. Han, M-W. Kim, and B. C. Lee, J. Appl. Phys. 105, 123509 (2009).
- [13] E-J. Yun, J. W. Jung, Y. H. Han, M-W. Kim, and B. C. Lee, J. Korean Phys. Soc. 56, 356 (2010).
- [14] E-J. Yun, J. W. Jung, and B. C. Lee, J. Alloys Compd. 496, 543 (2010).
- [15] E-J. Yun, J. W. Jung, K. N. Ko, J. Hwang, B. C. Lee, and M-H. Jung, Thin Solid Films 518, 6236 (2010).
- [16] Y-J. Lin, C-L. Tsai, Y-M. Lu, and C-J. Liu, J. Appl. Phys. 99, 093501 (2006).
- [17] R. D. Guenther, Modern Optics (John Wiley & Sons, NewYork, 1990), p. 61-86.
- [18] Corning 1737 AMLCD Glass Substrates, Material Information;
<http://www.corning.com/displaytechnologies>.
- [19] T. Kamiya, K. Nomura, and H. Hosono, P hys. Status Solidi A 206, 860 (2009).
- [20] Y. Choi, G. H. Kim, W. H. Jeong, H. J. Kim, B. D. Chin, and J-W. Yu, Thin Solid Films 518, 6249 (2010).
- [21] W. M. Yen, S. Shionoya, and H. Yamamoto, Phosphor Handbook (CRC Press, Boca Raton, 2007), p. 30.
- [22] T. Kamiya, K. Nomura, and H. Hosono, Journal of Display Technology 5, 468 (2009).

— 저 자 소 개 —



윤 의 중(정회원)-교신저자
1985년 고려대학교 전자공학과
학사 졸업.
1988년 U. of Texas, Austin,
Electrical Engineering
석사졸업.
1994년 U. of Texas, Austin,
Electrical Engineering
박사졸업.

2014년 현재 호서대학교 정보통신공학과 교수
1994년~1996년 미국 U. of Texas, Austin, 부설
Center for Magnetics Post-Doctor 연구
원.

2004년 9월~2005년 8월 미국 U. of Texas,
Austin, 나노 입자연구소 연구교수.

2012년 9월~2013년 8월 미국 U. of Texas,
Austin, Microelectronics Research
Center 연구교수.

<주관심분야 : 자성체 나노입자 합성 및 개발,
고 에너지 전자빔 조사 및 plasma 처리에 의한
ZnO 와 IGZO 특성 최적화, ZTO, IGZO 박막 등
을 이용한 optoelectronic device (TFT 등) 개발,
etc>