

## AZO 전극을 갖는 GaP LED의 외부양자효율 향상에 관한 연구

김경민, 진은미, 김덕규, 박춘배  
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

### A Study of Increase External Quantum Efficiency of GaP LED with AZO Electrode

Kyeong-Min Kim, Eun-Mi Jin, Deok-Kyu Kim, Choon-Bae Park  
Wonkwang Univ. School of Electrical Electronic and Information Engineering

**Abstract :** In order to increase the efficiency of LED, transparent electrodes should be also developed. also suitable anti-reflection coating (ARC) is necessary for practical device applications. In our paper, Al-doped ZnO (AZO) films were fabricated by sputtering on GaP substrate(wavelength:620nm). Choosing optimum substrate temperature and sputtering rate, high quality AZO films were formed. We confirmed that the surface and electrical properties, which implemented using the methods of AFM, Hall measurement. The properties of AZO thin films especially depended on the thickness. We presumed that the change of the increase the external quantum efficiency of LED according to the AZO thin film of thickness.

**Key Words :** External quantum efficiency of LED, AZO electrode, Anti-reflection coating (ARC), RF magnetron sputtering,

#### 1. 서론

1907년 Badeker에 의해 스퍼터링법으로 제조한 CdO막이 처음 발표된 이후 산업계에서는 투명전도막에 대한 관심이 증가하였다. 최근에 투명전도막은 LED, PDP, LCD, OLED 등의 광산업, Display산업 그리고 태양전지와 같은 대체에너지 산업에 광범위하게 사용되고 있다[1].

특히 LED에 적용되는 투명전도막은 current spreading layer나 anti-reflection coating(ARC)으로 사용되어 LED의 효율을 향상 시키고, 이러한 고효율 LED를 제조하기 위해서는 높은 전기전도도와 광투과율을 갖는 투명전도막이 필요하다.

현재까지 가장 일반적으로 사용되고 있는 투명전도막은 스퍼터링법으로 제조된 ITO이다. 그러나 texture구조화의 어려움, 화학적 불안정성 그리고 높은 가격 등으로 인하여 새로운 투명전도막에 대한 요구가 증대되고 있다[2]. 따라서 고효율 LED를 제조하기 위해서는 ITO전극을 대체할 수 있는 AZO와 같은 새로운 투명 전도막이 필요하다.

AZO는 texture구조가 용이하고 화학적으로 안정할 뿐만 아니라 낮은 증착온도를 갖는 장점으로 인하여 차세대 투명전도막으로 각광받고 있다[3].

따라서, 본 연구에서는 GaP계 LED의 전극으로 AZO 박막을 제조하고, AZO 박막의 두께에 따른 표면 특성과 전기적 특성을 비교, 분석한다.

#### 2. 실험

LED에 적용된 AZO 박막은 두가지 기능을 한다. 하나는 전극으로서의 기능과 다른 하나는 에폭시와 기판과의 굴절률 차에 의한 손실감소의 기능을 한다. 선행 연구를 통해 2wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가된 ZnO target을 이용하여 AZO 박막을

$$R = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (1)$$

$$thickness : \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda_0}{4n_{AR}} \quad (2)$$

제조하고, 전극으로서 AZO의 기능을 확인한 바 있다[4].

GaP(n=3.0)기판과 에폭시(n=1.52) 사이의 반사율을 식 (1)에 따라 10.72%가 발생한다. 이러한 손실 감소를 위하여 굴절률이 2.1인 AZO를 GaP기판위에 성막하였다. 그림 1에 AZO 전극이 적용된 GaP계 LED의 구조도를 나타내었다.

이때 증착된 AZO 박막의 두께는 (2)식의 무반사 코팅조건에 따라 70nm, 210nm로 선정하였다[5]. 이렇게 증착된 AZO 박막의 두께변화에 따른 표면구조는 AFM(Nanoscope IV Multimode AFM)으로 이루어 졌고, 전기적 특성은 Hall effect 분석(HL5500PC)으로 이루어졌다.

#### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 AZO 박막의 표면 AFM 사진을 보여준다. AZO 박막은 두께 변화에 따라 표면 특성의 큰 변화를 보였다. 70nm의 두께로 성장된 AZO 박막의 grain size는 2.054nm, Rms Roughness는 2.616nm로 각각 측정되었다. 또한 210nm

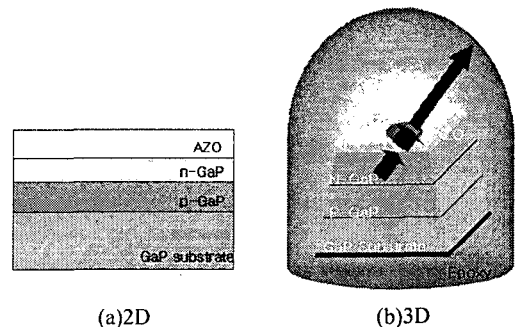


그림 1. AZO 전극이 적용된 GaP계 LED의 구조도.

표 1. 두께변화에 따른 AZO박막의 Hall 측정 결과.

	70nm	210nm
Resistivity( $\Omega\text{cm}$ )	$3.1 \times 10^{-4}$	$2.4 \times 10^{-2}$
concentration ( $10^{20}\text{cm}^{-3}$ )	6.99	1.0
Mobility ( $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ )	28.8	2.60

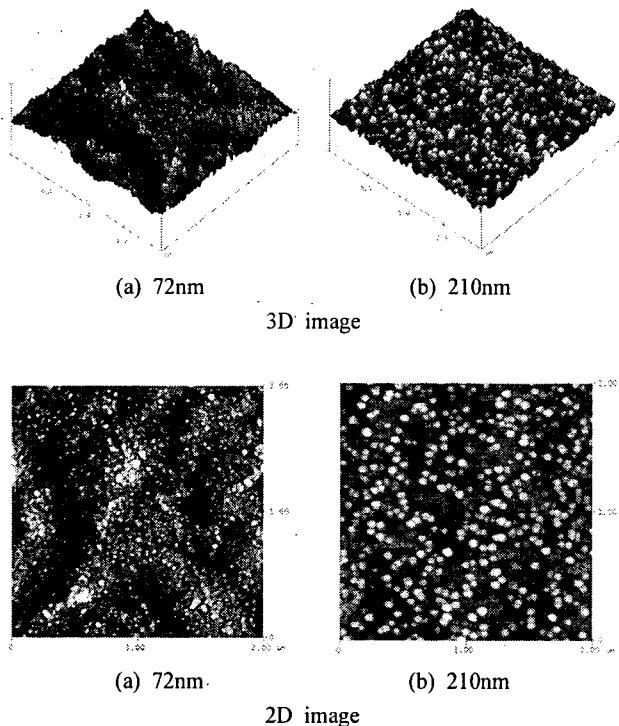


그림 2. AZO 박막의 표면 AFM 사진.

의 두께로 성장된 AZO 박막의 grain size는 7.89nm, Rms Roughness는 9.759nm로 증가하였다. 이는 박막의 성장모델에서 두께가 증가함에 따라 grain이 매우 균일하게 성장되고 grain size가 커짐에 따라 rms roughness 또한 증가한 것으로 판단된다.

표 1은 두께변화에 따른 AZO 박막의 Hall 측정 결과를 정리한 것이다. 두께 변화에 따른 AZO 박막의 전기적 특성은 매우 큰 차이를 보였다. AZO 박막의 두께가 70nm일 때 비저항, 캐리어농도, 이동도는  $3.1 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}$ ,  $6.99 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ ,  $28.8\text{cm}^2/\text{Vs}$ 로 각각 측정되었고, AZO 박막의 두께가 210nm일 때는  $2.4 \times 10^{-2}\Omega\text{cm}$ ,  $1.0 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ ,  $2.60\text{cm}^2/\text{Vs}$ 로 각각 측정되었다. AZO 박막의 두께가 감소할수록 비저항은 100배 이상 감소하였고, 캐리어 농도는 6배 이상 증가하였으며, 이동도는 10배 이상 증가하였다. 이러한 결과로 미루어 판단할 때, 비저항의 감소는 캐리어 농도보다는 이동도의 증가로 판단된다. 그리고 LED 외부양자효율 향상을 위해, AZO 박막을 210nm보다 70nm로 성장 하였을 때 LED효율을 최대화 할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 AZO 박막의 두께가 72nm일 때의 비저항은  $3.1 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}$ 로 측정 되었는데 이러한 수치는 타 연구와 비

교, 분석 해 볼 때, 제조된 AZO 박막의 전기적 특성은 매우 우수함을 확인하였다[6].

#### 4. 결론

본 연구에서는 LED의 효율 향상을 위하여, RF 스퍼터링 법으로 AZO 박막을 제조하고, 무반사 코팅 조건에 따라 72nm, 210nm의 두께로 성장된 AZO 박막의 표면특성과 전기적 특성을 비교, 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) AFM 분석결과, 72nm의 두께로 성장된 AZO 박막보다 210nm로 성장된 AZO 박막이 grain size는 2.054nm에서 7.89nm로, RMS roughness는 2.616nm에서 9.759nm로 크게 증가하는 것을 확인하였다.
- 2) Hall 효과 분석을 통해 AZO 박막의 두께가 72nm인 샘플에서 비저항, 캐리어농도, 이동도는 각각  $3.1 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}$ ,  $6.99 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ ,  $28.8\text{cm}^2/\text{Vs}$ 로 측정되었으며, 210nm 성장 한 AZO 박막은  $2.4 \times 10^{-2}\Omega\text{cm}$ ,  $1.0 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ ,  $2.60\text{cm}^2/\text{Vs}$ 로 각각 측정되었다. 특히 72nm의 두께로 성장된 AZO 박막의 비저항은  $3.1 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}$ 로 전기적 특성이 매우 우수함을 확인하였다.
- 3) AZO박막은 두께변화에 따라 표면구조와 전기적 특성이 매우 변화함을 확인하였다. 특히 LED소자의 전극으로 AZO 박막을 70nm로 성장 하였을 때, LED소자의 가장 큰 외부 양자효율향상을 기대할 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구 결과로 수행되었음.

#### 참고문헌

- [1] Akhlesh Gupta, Alvin D. Compaan, Appl. Phys. Lett., "All-sputtered 14% CdS/CdTe thin-film solar cell with ZnO:Al transparent conducting oxide", Vol. 85, No. 4, p. 684, 2004.
- [2] R. Banerjee, S. Ray, N. Basu, A. K. Batayal, and A. K. Barua, J. Appl. Phys., Vol. 62, No. 3, p. 912, 1987.
- [3] X. T. Hao, L. W. Tan, K. S. Ong, F. Zhu, "High-performance low-temperature transparent conducting aluminum doped ZnO thin films and applications", Journal of Crystal Growth, Vol. 1, 287, No 1, p. 44, 2006.
- [4] 김경민, 진은미, 박춘배, "LED효율 향상을 위한 Texture 구조 AZO 박막의 제조와 광학적 특성분석", 한국전기전자재료학회논문지, Vol. 19, No. 10, p. 901, 2006.
- [5] S. J. So, K. M. Kim, C. B. Park, "Light Enhancement Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Passivation in InGaN/GaN based Blue Light-emitting Diode Lamps", J. KIEEME(in English), Vol 19, No. 8, p. 775, 2006.
- [6] F. Ruske, V. Sittinger, W. Werner, B. Szyszka, K.U. Van Osten, K. Dietrich, R. Rix, "Hydrogen doping of DC sputtered ZnO:Al films from novel target material", Surface & Coatings Tech., Vol 200, No. 1-4, p. 236, 2005.