

GaN-LED용 투명전도막에 대한 연구

이강영¹, 김원¹, 엄현석¹, 김은규², 김면성², 박진석¹
¹한양대학교 전자전기제어계측공학과
²우리 LST 주식회사

A study on transparent conducting films for GaN-based light emitting diodes

Kang-Young Lee¹, Won Kim¹, Hyun-Seok Uhm¹, Eun-Kyu Kim², Myun-Sung Kim², Jin-Seok Park¹
¹Dept. of Electronic, Electrical, Control and Instrumentation Engineering, Hanyang University
²Wooree LST Co., LTD.

Abstract - Effects of thin ZnO/Mg interlayers on electrical and optical properties between p-GaN and ITO were characterized for its application to GaN-LEDs. The ZnO and Mg layers were deposited to have various thicknesses (1~6nm for ZnO and 1~2nm for Mg) by sputtering. After RTA process, the atomic migration between Mg and ZnO and the formation of Ga vacancy were observed from SIMS depth profile, resulting in the increase of hole concentration and the reduction of band bending at the surface region of p-GaN. The sample using ZnO(2nm)/Mg(2nm) interlayer produced the lowest contact resistance with SBH(Schottky barrier height) of 0.576 eV and the transmittance higher than 83% at a wavelength of 460nm when annealed at 50 0C for 3min in air ambient

1. 서 론

투명 전도 산화막(TCO)의 하나인 ITO는 낮은 비저항과 가시광선 영역에서 높은 투과율을 가지고 있기 때문에 OLED, LED, 태양전지 및 LCD 등에 폭넓게 사용되고 있다.[1] 그러나, GaN를 이용한 LED의 경우 p-GaN과 ITO 사이의 높은 일함수 차이에 의하여 쇼트키(Schottky) 장벽이 존재하여 매우 높은 접촉 저항이 발생하고 결국 LED의 효율을 저하시키는 문제점이 있다. 접촉 저항의 향상을 위한 연구로서, ITO 대신 얇은 Ni/Au막을 사용한 바 있으나, 광학적 투과율이 심각히 저하되는 결과가 나타났다.[2] 이 외에도 Ag나 Sn/Ag 등의 얇은 삽입층을 넣어 접촉 저항을 낮추는 많은 연구들도 진행되고 있다.[3,4] 또한, ZnO는 높은 밴드갭(3.37eV)을 가지고 GaN과 격자상수가 비슷하며, 높은 여기자 에너지(60meV)를 갖는 II-VI족 화합물로서,[5] ITO를 대체할 TCO층으로서 뿐 아니라 p-GaN과 ITO의 삽입층으로서 전기적 접촉 특성 향상시키려는 연구가 일부 시도되고 있다.[6,7]

본 연구에서는 기존에 GaN-LED용 TCO층으로 많이 응용되어 ITO와 p-GaN 사이에 얇은 다층막 구조의 ZnO/Mg 삽입층을 증착하고, 이에 따른 p-GaN과의 전기적 접촉저항 및 가시광선의 청색영역(@460nm)에서의 광학적 투과율을 분석하였다. 특히, 다층막을 구성하는 ZnO와 Mg 막의 두께를 다양하게 변화시키면서 상기 물질들의 변화를 체계적으로 측정하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

p-GaN과 ITO간의 삽입층의 효과를 분석하기 위하여 MOCVD (Metal-Organic Chemical Vapor Deposition)를 사용하여 사파이어 기판 위에 GaN(두께 2μm, undoped)와 p-GaN(두께 1μm, 도핑농도 3×10¹⁷ cm⁻³)를 성장시켰다. 각 샘플은 아세톤, 메탄올, DI 순으로 5분씩 세정 후 N₂로 건조시켜 유기물을 제거하였고, 산화층 제거를 위해서 BOE(Buffered Oxide Etch)에서 20분간 세정 후 DI로 세척하고 N₂로 건조시켰다. 이후 일반적인 사진 공정(감광액 AZ1512, 현상액 AZ300)을 거쳐 전류-전압 특성 측정을 위한 TLM(Transmission Line Method) 패턴을 형성시켰다. 그리고 스퍼터 증착에 앞서서 BOE에서 5분간 세정 후 DI로 세척 및 N₂로 건조시켜 산화층 제거를 실시하였다.

ZnO막의 증착은 Zn 타겟과 O₂가스를 이용한 RF Reactive Sputtering(100W, 상온, 5mTorr, Ar 8.4 sccm, O₂ 3.6 sccm) 방법을 사용하였으며, 증착시간을 가변시켜 두께를 조절하였다. Mg막의 증착은 DC Sputtering(50W, 상온, 5mTorr, Ar 30 sccm) 방법을 사용하였으며, 두께의 조절은 ZnO와 같은 방법으로 수행하였다. ITO는 RF Sputtering 법(RF 80W, 상온, 5mTorr, Ar 30sccm)을 사용하였으며, 220nm 두께로 증착하였다. 증착 공정 후 TLM 패턴 형성을 위하여 리프트오프(liftoff,

AZ700, 1시간) 공정을 수행하였다. 패턴이 형성된 샘플들은 투과율과 전기적 특성을 향상시키기 위해서 공기 중에서 3분간 열처리(RTA, Rapid Thermal Annealing, 500 0C)를 하였다.

전류-전압(I-V)측정은 전류전압 측정장치(Agilent, 4155C)를 사용하여 TLM패턴의 10μm간격에서 -5V에서 5V까지 측정하였으며, 투과율 측정은 투과율 분석기(Scinco, S-3100)를 사용하여 300nm에서 800nm까지 가시광선 영역을 측정하였다. 그리고 2차 이온 질량 분석(PHI, 7200)을 통하여 깊이에 따른 확산 현상을 확인하였다.

2.2 결과 및 고찰

그림1은 제작된 샘플들의 ZnO/Mg 삽입층의 증착 두께에 따른 전류-전압(I-V) 그래프이다. 그림1-(a)와 같이 삽입층이 없는 ITO 전극의 경우보다 그림1-(c)에서처럼 ZnO(2nm)/Mg(2nm)의 삽입층을 이용할 경우 약 10⁻¹Ωcm² 정도의 낮은 접촉저항을 나타내는 결과를 보였다. 이외 다른 삽입층의 조건들에서는 삽입층이 없는 ITO 전극에 비해 높은 접촉 저항 특성을 보였으며, 이러한 차이는 p-GaN과 ITO 전극 사이에 증착된 ZnO와 Mg의 두께 비에 따라 변화된 물질로 인해 각각의 삽입층에 대하여 쇼트키 장벽의 차이가 발생한 것으로 사료된다.

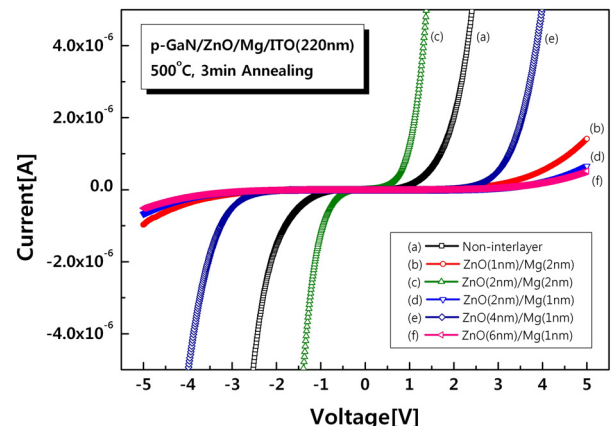
ZnO와 Mg 삽입층의 비율에 따른 쇼트키 접촉 특성을 이해하기 위해 각 샘플들의 I-V 측정값으로부터 아래와 같은 식 (1)과 (2)의 관계식을 이용하여 쇼트키 장벽을 계산하였다.[8]

$$I = I_0 \exp(qV/nkT) * [1 - \exp(-qV/kT)] \tag{1}$$

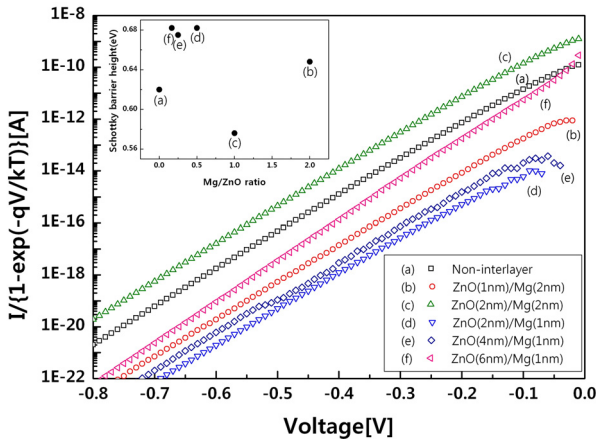
$$I_0 = SA T^2 \exp(-\phi_b/kT) \tag{2}$$

여기서 n은 ideality factor, k는 Boltzman 상수, T는 절대온도, S는 접촉면적, A는 Richardson 상수, 그리고 ϕ_b 는 쇼트키 장벽이다.

그림2는 각 샘플에 대해 측정된 전압 V에 대한 $1/(1-\exp(qV/kT))$ 값을 표현한 log 그래프이다. 이 그래프로부터 V=0일 때 y축 교점에서 I₀를 구한 후, 식 (2)를 이용하여 ZnO/Mg 두께 비에 따른 쇼트키 장벽(ϕ_b)을 산출하여 그림2에 도시하였다. 앞에서 언급 하였듯이 ZnO/Mg 삽입층 두께 비에 따라 쇼트키 장벽이 변화하는 것을 확인할 수 있으며, 1:1 비율의 ZnO/Mg 삽입층의 경우에서 가장 작은 쇼트키 장벽인 0.576 eV가 형성되었다.(그림2-(c)) 이에 따라 삽입층이 없는 ITO 전극의 경우 또는 다른 삽입층 두께 비를 가지는 샘플의 경우에서 보다 낮은 접촉저항을 보인 것으로 사료된다.

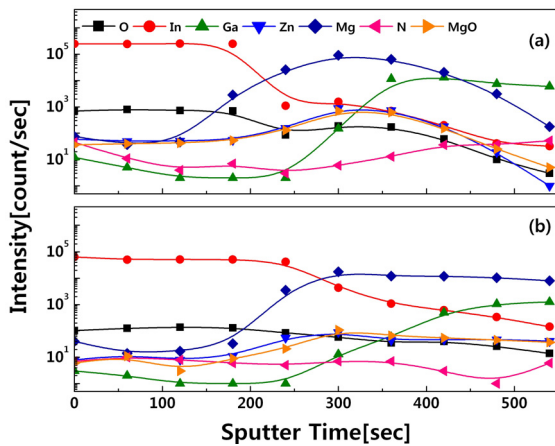


〈그림 1〉 ZnO/Mg 삽입층의 두께 변화에 따른 전류-전압 그래프



〈그림 2〉 삽입층의 두께비에 따른 쇼트키 접촉 특성과 쇼트키 장벽 변화

그림3은 쇼트키 장벽이 가장 낮은 ZnO(2nm)/Mg(2nm) 샘플에 대하여 RTA(500°C, 3min)를 하기 전(a)과 후(b)의 2차 이온질량분석(SIMS) 그래프이다. 그림3-(a)에서 p-GaN 위에 증착하였던 삽입층의 성분인 Mg 및 Zn 원자들이 RTA를 거쳐 그림3-(b)에서와 같이 p-GaN 안쪽 영역으로 확산되는 것을 확인할 수 있다. 반면 Ga 원자의 경우에는 RTA 후 GaN의 표면에서 성분이 감소하였는데 이는 p-GaN의 Ga이 삽입층의 다른 성분들과 결합하여 Ga vacancy를 형성함으로써 deep acceptor로 작용한 것으로 보이며, 이는 다른 연구들의 결과와 일치한다.[9] 이러한 RTA를 통해 확산된 Mg 및 Zn 원자들과 Ga vacancy는 GaN의 p형 dopant로 작용하게 되며, 결과적으로 GaN 표면 영역에 국부적인 운송자(carrier) 밀도를 증가시키는 결과를 가져온다. 이에 따라 p-GaN 표면 영역에서 band bending 감소에 의한 쇼트키 장벽 감소를 유도하여 ITO 전극과의 접촉저항을 낮추어 준 것으로 사료된다.

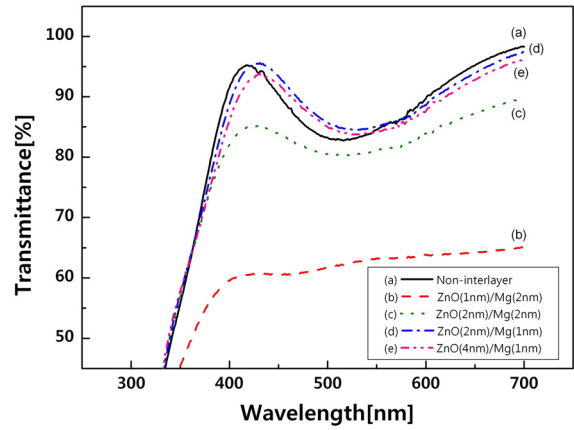


〈그림 3〉 ZnO(2nm)/Mg(2nm)의 RTA 전(a)과 후(b)의 SIMS 분석 결과

그림4는 ZnO/Mg 삽입층의 두께 변화에 따른 투과율 그래프이다. 그림 4-(a)의 경우와 같이 삽입층이 없는 ITO 전극의 투과율은 460nm 가시광선 영역에서 90% 이상의 높은 투과율을 보였으나, ZnO/Mg 삽입층을 적용할 경우 Mg의 두께 비가 증가함에 따라 투과율이 감소함을 보였다. 이는 Mg가 가지고 있는 높은 광 흡수율 특성에 따른 것으로서 삽입층 적용에 의한 투과율 감소를 최소화시키면서 최소 접촉저항을 가질 수 있도록 하는 공정 변수, 즉 ZnO/Mg 층의 두께 비 조절 및 RTA 공정 최적화가 필요할 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 연구에서는 p-GaN과 ITO 전극 사이의 접촉 저항을 줄이는 동시에 가시광선 영역에서 높은 투과율을 유지시키기 위한 ZnO/Mg 삽입층에 대한 연구를 수행하였다. 효과적인 RTA 온도와 시간(500°C, 3min)에서 ZnO와 Mg막의 두께 변화에 따른 I-V와 투과율을 측정된 결과, 1:1 비율의 ZnO/Mg 삽입층을 이용할 경우 가장 작은 쇼트키 장벽을 형성



〈그림 4〉 ZnO/Mg 삽입층의 두께 변화에 따른 투과율 특성

함으로써 삽입층이 없는 ITO 전극에 비해 보다 낮은 접촉저항을 구현할 수 있었다. 계산식을 이용하여 삽입층 두께 비에 따른 쇼트키 장벽을 구하였으며, SIMS 분석을 통하여 RTA 공정을 통해 삽입층의 성분인 Mg 및 Zn 원자들이 p-GaN 안쪽 영역으로 확산 되는 것을 확인하였다. 또한 ZnO/Mg 삽입층이 없는 ITO 전극에 비해 ZnO/Mg 삽입층을 적용할 경우 Mg 두께가 증가함에 따라 투과율 감소를 보였으며, Mg의 두께가 투과율의 중요한 변수임을 보였다.

본 연구의 결과에서 삽입층이 없는 ITO 전극에 비해 ZnO/Mg 삽입층을 통해 낮은 접촉저항을 구현할 수 있었지만, GaN LED 동작을 위해 필요한 우수한 오믹(Ohmic) 접촉 특성을 도출하지는 못하였다. 그러나, 추후 다양한 삽입층의 두께 비 조절 및 RTA 공정에 대한 변수를 고려한 실험을 통해 이 문제를 해결하고자 한다.

[참고문헌]

- [1] F. Kurdesau, G. Khripunov, A. F. da Cunha, M. Kaelin and A. N. Tiwari, "Comparative study of ITO layers deposited by DC and RF magnetron sputtering at room temperature", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 352, 1466-1470, 2006.
- [2] J. K. Ho, C. S. Jong, C. C. Chiu, C. N. Huang and K. K. Shih, "Low-resistance ohmic contacts to p-type GaN", *Applied Physics Letters*, 74 (9), pp. 1275-1277, 1999.
- [3] J. O. Song, K. K. Kim, H. Kim, Y. H. Kim, H. G. Hong, H. Na and T. Y. Seong, "Formation of low-resistance and transparent indium tin oxide ohmic contact for high-brightness GaN-based light-emitting diodes using a Sn-Ag interlayer", *Material Science in Semiconductor Processing*, 10, 211-214, 2007.
- [4] J. O. Song, D. S. Leem, J. S. Kwak, Y. Park, S. W. Chae and T. Y. Seong, "Improvement of the luminous intensity of light-emitting diodes by using highly transparent Ag-indium tin oxide p-type ohmic contacts", *IEEE Photonics Technology Letters* 17, 291-293, 2006.
- [5] S. Logothetidis, A. Laskarakis, S. Kassavetis, S. Lousinian, C. Gravalidis and G. Kiriakidis, "Optical and structural properties of ZnO for transparent electronics", *Thin. Solid Films*, 516, 1345-1349, 2008.
- [6] D. Y. Jiang, D. Z. Shen, K. W. Liu, C. X. Shan, Y. M. Zhao, T. Yang, B. Yao, Y. M. Lu, and J. Y. Zhang, "Effect of post annealing on the band gap of Mg_zZn_{1-z}O thin films", *Semiconductor Science and Technology*, 23, 2008.
- [7] S. Kumar, V. Gupte and K. Sreenivas, "Structural and optical properties of magnetron sputtered Mg_zZn_{1-z}O thin films", *Journal of Physics Condensed Matter*, 18, 3343-3354, 2006.
- [8] T. Mori, T. Kozawa, T. Ohwaki, Y. Taga, S. Nagai, S. Yamasaki, S. Asami, N. Shibata and M. Koike, "Schottky barriers and contact resistances on p-type GaN", *Applied Physics Letters*, 69 (23), pp. 3537-3539, 1996.
- [9] J. O. Song, H. G. Hong, J. W. Jeon, J. I. Sohn, J. S. Jang and T. Y. Seong, "Possible Ohmic mechanisms of Ag/Indium tin oxide p-type contacts for high-brightness GaN-based light emitting diodes" *Electrochemical and solid-state letters*, 11 (2) H36-H38, 2008.