Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 21, No. 7, p. 610, July 2008.

논 문 21-7-5

수소저장합금을 이용한 p-GaN ITO 투명전극과 Au 전극과의 특성비교

Comparison of the Electrical and Optical Properties in between Transparent ITO and Au Electrodes using Hydrogen-storage Metals as Intermediate Layers

채승완[1], 김철민[1], 김은홍[1], 이병규[1], 신영철[1], 김태근[1,a]
(Seung Wan Chae[1], Chul Min Kim[1], Eun Hong Kim[1], Byung Kyu Lee[1], Young Chul Shin[1], and Tae Geun Kim[1,a])

Abstract

In this work, the electrical and optical properties of the two different p-type GaN electrode schemes, ZnNi/ITO and ZnNi/Au, were compared each other, and applied to the top-emitting GaN/InGaN light-emitting diodes (LEDs). The ZnNi/ITO electrode showed much higher transmittance (90 %) and slightly lower contact resistance (1.27×10^{-4} Ωcm^2) than those (77%, 2.26×10^{-4} Ωcm^2) of the ZnNi/Au at a wavelength of 460 nm. In addition, GaN LEDs having ZnNi/ITO showed accordingly higher light output power and luminous intensity than those having ZnNI/Au did at the current levels up to 1 A.

Key Words : GaN LED, Ohmic contact, p-GaN electrode, Hydrogen-storage metals

1. 서 론

최근 박막성장기술 및 소자 발전에 힘입어 질화물계 발광 다이오드(GaN-LED)의 성능은 급속도로 발전하고 있으며 IT 산업의 성장과 더불어 그 수요와 응용범위도 점차 확대되고 있다[1]. 초기의 반도체 발광 다이오드는 밝기가 매우 낮아서 단순 표시 소자 등에 주로 사용되었지만 90년대 중반에 질화물 반도체에 대한 성장기술 및 소자제조 기술에 대한 큰 발전에 힘입어 고휘도 청색 발광 다이오드 제작이 가능하게 되어, 주간에도 문자나 영상 표현이 가능하게 되었으며 고휘도 백색 발광다이오드 개발과 더불어, Keypad, LCD Backlight, 일반조명 등으로 점차 그 응용범위를 확대해나가고 있다. 그러나 GaN 기반 LED가 일반 조명으로 응용을 확대하기 위해서는 발광 효율 개선은 물론, 칩의 신뢰성, 열 방출 문제를 해결하기 위한 칩의 구조와 패키징 구조를 개발할 필요가 있고, 형광체의 고 효율화를 달성하여야 한다. 일반적으로 사파이어 기판 위에 성장한 GaN 기반 LED는 p-GaN과 오믹 접촉된 넓은 영역의 전극의 낮은 투과율 때문에 광 추출 효율이 감쇄되는 문제점을 가지고 있다. 그러나 광 투과성을 높이기 위해 전극의 두께를 얇게 하면 면 저항이 높아져서 전류 집중화 문제 등이 생겨나기 때문에 LED의 고성능화에 많은 제약을 초래했다. p형 전극의 오믹 접촉 전극 특성이 좋지 않으면 전극과 반도체 사이에 접촉저항이 커지게 되고, 이로 인해 전류 주입속도(carrier injection rate)가 떨어지고 계면에서의 열적 손실이 증가하여 소자의 발광 및 양자효율이 저하되는 등 전기적, 구조적 특성에 큰 손실을 주게 된다. 따라서 고효율 전기적, 광학적 특성을 갖는 조명용 고휘도 발광 소자를 개발하는데 있어서 고투명성 오믹 전극 및 광 추출 향상 기술 개발은 매우 중요하다. 때문에 오믹 전극의 접촉저항을 낮추기 위해서 DA 기술[2], 초격자 (superlattice) 구조 도입[3], 표면처리[4]등과 같은 여러 방법들이 도입되었다. 최근에는 나노 구조를 질화물반도체와 p형 전극간의 계면에 도입하여 쇼트키 장벽 높이를 조절함으로써 접촉 저항을 낮추는 연구도 진행

1. 고려대학교 전기전자공학과
(서울시 성북구 안암동 5가 1)
a. Corresponding Author : tgkim1@korea.ac.kr
접수일자 : 2008. 4. 29
심사완료 : 2008. 5. 24

되고 있다[5]. 또한 광 추출 효율을 높이기 위해서는 낮은 접촉 저항을 가진 높은 투과율의 p형 오믹 접촉 전극의 개발이 요구되어진다. 초기에는 Ni/Au[6], Pt[7], Pd[8], Co/Au[9]등의 큰 일함수를 가지는 반투과형 전극을 사용하였다. 그러나 이러한 물질은 단파장(즉, 460 nm)의 빛에서는 높은 흡수를 보여서 낮은 투과도를 가진다. 따라서 이러한 낮은 투과율을 해결하기위해 indium tin oxide (ITO), indium zinc oxide 같은 투과 전도성 산화막이 개발되었다[10]. 그러나 이러한 전도성 산화막은 높은 접촉 저항으로 인한 문제점 때문에 여러 가지 해결책이 요구되어진다. 높은 접촉저항과 관련 되는 원인 중 하나는 p-GaN dopant로 사용되는 Mg이 캐리어 가스로 사용되는 암모니아와 반응하여 Mg-H 결합이 형성되는데, 이는 전기적 특성의 저하를 가져오게 된다[11,12].

따라서 본 연구에서는 높은 투과율을 가지면서 낮은 접촉 저항을 가지는 오믹 전극을 연구하기 위하여 수소저장합금 중 하나인 ZnNi 합금 기반의 ITO 투명전극을 이용한 p-type GaN 오믹 접촉 구조와 기존의 반투과성 전극 Au를 이용한 ZnNi/Au 구조와의 전기적, 광학적 특성을 비교하였다.

2. 실 험

ZnNi/ITO의 전기적, 광학적 특성을 ZnNi/Au와 비교하기 위해 우선 도핑 농도가 5×10^{17} cm^{-3}, 두께 1.5 μm의 p-GaN 층을 사파이어 기판 위에 화학기상증착방법 (Metal Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)으로 성장한 다음, 증착 전 포토 공정에서 발생한 불순물을 제거하기 위하여 염산 전처리를 진행한 후 E-Beam evaporator를 통해 ZnNi/Au, ZnNi/ITO 전극 구조를 증착하였다. 각각의 전극의 두께는 ZnNi/Au는 5 nm/5 nm, ZnNi/ITO의 두께는 5 nm/380 nm로 설정하였다. 그 다음 수소 저장 합금 ZnNi의 오믹 접촉 특성 조건을 확보하기 위해 500 ℃ 온도에서 급속 열처리 공정으로 1분 동안 질소 분위기에서 열처리 공정을 진행한 후 I-V 곡선과 specific contact resistance를 관찰하였다.

이 실험에서는 접촉저항을 측정하기 위하여 Transmission Line Model (TLM) 방법을 사용하였다. TLM 방법은 단위 접촉저항을 측정하기 위한 방법 중 하나로 직사각형의 금속 전극을 반도체 위에 포토 공정 및 금속 증착 공정을 이용하여 여러 가지 전극 간 거리를 이루면서 만든다. TLM 방식에서 단위 접촉저항을 계산하는 방법은 아래와 같다. 연속적으로 여러 가지 스페이스 간격으로 놓인 전극에서 인접한 두 전극 간의 전체 저항을 적절한 전압 범위 내에서 측정하고, 아래 식에 따라 그래프를 plot 한다. 여기서 d는 전극 간 스페이스 간격, R_c는 접촉저항, Z는 전극 폭으로 정의한다.

$$R_T = \frac{\rho_s \cdot d}{Z} + 2R_c = \frac{\rho_s \cdot d}{Z} + 2 \cdot \left[\frac{\rho_s \cdot L_T}{Z}\right]$$

각 스페이스 간격 별로 측정된 각각의 저항값들을 x 축을 전극간격으로 하여 그래프를 그리면, x 절편, y 절편, 기울기가 각각 R_c, L_T, ρ_s로 정의할 수 있음을 알 수 있다. 단위 접촉저항은 여기서 구해진 L_T, ρ_s 값을 아래 식에 대입하여 구할 수 있다.

$$L_T = \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_s}}$$

이 실험에서 패턴의 사이즈는 150 μm×500 μm이며, 패턴 전극 사이 간격은 5 μm부터 50 μm까지 간격을 조정하였다. 그림 1에 본 실험에서 사용한 Transfer Length Method 패턴을 나타내었다.

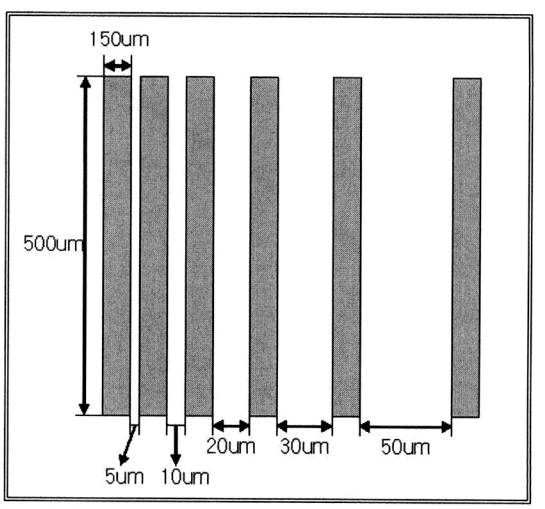

그림 1. Transmission line model 구조.
Fig. 1. Transmission line model structure.

또한 500 ℃ 온도로 열처리 후에 parameter-analyzer를 사용하여 전압을 -1 V부터 1 V까지 가변시키며 샘플의 전압-전류 특성을 측정하였다. 그리고 spectrophotometer와 beam analyzer 기반의 투과율 측정기를 사용하여 열처리 후 400 nm에서 600 nm 사이의 Wavelength에서 투명 전극의 광학적 투과성을 측정하였다. 마지막으로 LED tester를 사용하여 0에서 1000 mA까지 주입전류를 변화시키며 이에 따른 ZnNi/ITO와 ZnNi/Au 전극의 광 출력을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

열처리 온도에 따른 ZnNi/ITO의 단위 오믹 접촉 저항은 열처리 온도가 500 ℃에서 1.25 x 10^{-4} Ωcm^2로 낮은 접촉 저항의 특성을 보였다. 일반적으로 높은 열처리 온도에서 전극의 접촉저항이 낮아지는 이유는 열처리 과정 중에 p-GaN 내 형성된 Mg-H 결합이 제거되며 제거된 H 원자가 수소 저장합금 특성을 가진 ZnNi으로 결합하면서 p-GaN의 전기 이동도를 증가시키고 또한 Mg accepter의 이온화 에너지를 낮춤으로써 쇼트키 장벽을 낮추기 때문으로 여겨진다.

그림 2는 500 ℃에서 열처리 된 ITO, ZnNi/Au, ZnNi/ITO 전극의 각각의 current-voltage (I-V) 값을 비교한 것으로 p-GaN에 바로 ITO를 증착하여 열처리한 경우 n-type 특성을 갖는 ITO 에 의해 쇼트키 특성을 보이는 것을 볼 수 있지만 ZnNi/Au, ZnNi/ITO 전극에 열처리를 진행하면, 일직선 특성을 보이는 낮은 오믹 접촉 저항 값을 나타내는 것을 볼 수 있었다. 또한 접촉저항을 비교했을 때 모두 우수한 오믹 특성을 보이나 ZnNi/ITO 전극이 ZnNi/Au 전극보다 다소 낮음을 알 수 있다.

그림 3은 ZnNi/Au, ZnNi/ITO 전극의 가시광선에서의 광학적 투과율 비교를 보여주고 있다. 그림과 같이 전체적으로 ZnNi/ITO 전극이 전체 가시광선 영역에서 훨씬 우수한 투과율 특성을 보여준다.

특히 460 nm 기준 blue 파장에서는 ZnNi/Au 전극은 71 %의 투과율을 보이는 데 반해 ZnNi/ITO 전극은 90 % 이상의 높은 투과율 특성을 보임을 확인할 수 있다. 그 이유로는 Au같은 귀금속에 비해 ITO의 박막이 보다 산화하기 쉬운 특성을 지니고 있기 때문으로 여겨진다.

그림 4는 ZnNi/Au, ZnNi/ITO 전극의 가시광선에서의 광출력 비교를 보여주고 있다. 그림과 같이 ZnNi/ITO 전극은 광출력 증가분이 ZnNi/Au보다 크며 1000 mA의 전류에서 ZnNi/ITO는 약 120의 광도를 보이는 데 반해 ZnNi/Au는 90의 광도를 보여주고 있어서 ZnNi/ITO의 광출력 특성이 향상되었음을 알 수 있는데 이는 그림 2, 3에서 언급한 ZnNi/ITO의 다소 나은 I-V 특성과 높은 투과율 때문이다.

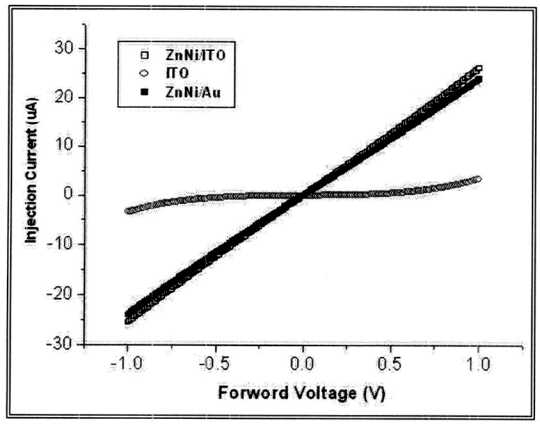

그림 2. 500 ℃에서 열처리된 ITO, ZnNi/Au 및 ZnNi/ITO 박막의 전류-전압 특성.

Fig. 2. Current-voltage characteristics for ITO, ZnNi/Au and ZnNi/ITO films annealed at 500 ℃.

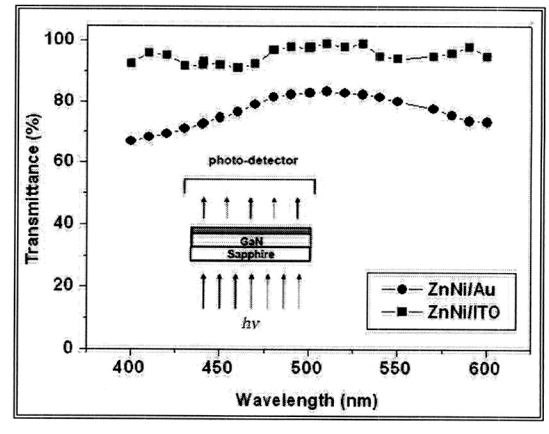

그림 3. 500 ℃ 열처리된 ZnNi/Au, ZnNi/ITO의 가시광선 영역 내 광학적 투과율 특성 비교.

Fig. 3. Transmittance of ZnNi/Au and ZnNi /ITO electrodes annealed at 500 ℃.

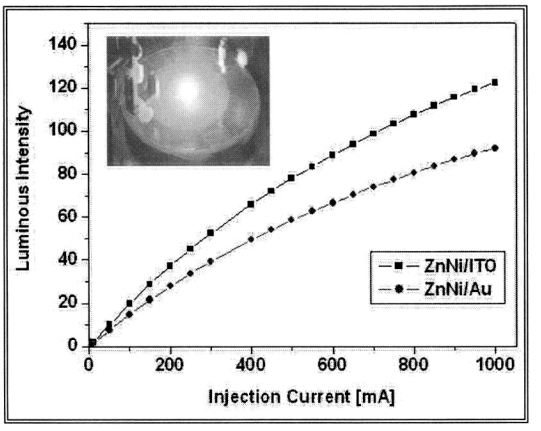

그림 4. 500 ℃ 열처리된 ZnNi/Au, ZnNi/ITO의 광 출력 특성 비교.

Fig. 4. Luminous intensity measured from GaN LEDs with ZnNi/Au and ZnNi/ITO electrodes.

4. 결 론

본 연구에서는 기존 전극의 낮은 광 추출 효율과 높은 접촉 저항을 개선하기 위하여 수소저장합금을 적용한 ZnNi/ITO 투명전극 구조를 형성하여 기존의 반투과성막인 Au를 적용한 ZnNi/Au와의 전기적, 광학적 특성을 비교하였다. 투명전극인 ZnNi/ITO 전극은 반투과성막인 Au가 적용된 ZnNi/Au 전극보다 낮은 접촉저항과 높은 투과율 특성 및 향상된 광출력 효과를 보였다.

감사의 글

이 논문은 삼성전기와 협력연구로 수행되었으며, 2008년도 과학기술부의 재원으로 한국과학재단 (R01-2007-000-11760-0) 및 서울시 R&BD 신기술 개발사업의 지원을 받아 수행되었음.

참고 문헌

[1] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, T. Kazaki, H. Umemoto, M. Sano, and K. Chocho, "InGaN-based multi-quantum-well-structure laser diodes", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35, No. 1, p. 1586, 1997.

[2] R. V. Ghita, C. Logofatu, C. Negrila, A. S. Manea, M. Cernea, and M. F. Lazarescu, "Studies of ohmic contact and schottky barriers on Au-Ge/GaAs and an-Ti/GaAs", J. Opto. Adv. Materials, Vol. 7, No. 6, p. 3033, 2005.

[3] E.-S. Lee, I.-S. Seo, K.-J. Kim, and C.-R. Lee, "Fabrication and characteristics of blue LED on GaN/Si (111) epitaxy grown with AlGaN/GaN superlattice interlayer", J. Kor. Phys., Vol. 45, No. 5, p. 1356, 2004.

[4] R. H. Horng, C. C. Yang, J. Y. Wu, S. H. Huang, C. E. Lee, and D. S. Wuu, "GaN-based light-emitting diodes with indium tin oxide texturing window layers using natural lithography", Appl. Phys. Lett., Vol. 86, No. 22, p. 1101, 2005.

[5] H.-W. Huang, C. C. Kao, J. T. Chu, H. C. Kuo, S. C. Wang, and C. C. Yu. "Improvement of InGaN - GaN light-emitting diode performance with a nano-roughened p-GaN surface", IEEE Photonics Tech. Lett., Vol. 17, No. 5, p. 983, 2005.

[6] S. Nakamura, M. Senoh, N. Iwasa, S. Nagahama, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, T. Kazaki, H. Umemoto, M. Sano, and K. Chocho, "InGaN/GaN/AlGaN-based laser diodes with modulation-doped strained-layer superlattices grown on an epitaxially laterally overgrown GaN substrate", Appl. Phys. Lett., Vol. 72, No. 2, p. 11, 1998.

[7] C. H., H.-S. Kim, S.-W. Kim, J.-M. Lee, D.-J. Kim, H.-M. Kim, and S.-J. Park, "Highly transparent Pt ohmic contact to InGaN / GaN blue light - emitting diodes", J. Kor. Vacuum. Sci., Vol. 4, No. 2, p. 47, 2000.

[8] K. Orita, Y. Takase, Y. Fukushima, M. Usuda, T. Ueda, S. Takigawa, T. Tanaka, D. Ueda, and T. Egawa. "High-extraction-efficiency blue light-emitting diode using extended-pitch photonic crystal", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, p. 5809, 2004.

[9] L. Wut, K. Shintakutg, T. Shinjot, and N. Nakayqa, "Preparation and structural characterization of Co/Au(OOl) superlattices", J. Phys. Condens., Vol. 5, p. 6515, 1993.

[10] T. Margalith, O. Buchinsky, D. A. Cohen, A. C. Abare, M. Hansen, S. P. DenBaars, and L. A. Coldren, "Indium tin oxide contacts to gallium nitride optoelectronic devices", Appl. Phys. Lett., Vol. 74, No. 26, p. 930, 1999.

[11] S. Y. Kim, H. W. Jang, and J. L. Lee, "Transparent ohmic contacts on p-GaN using an indium tin oxide overlayerr", Phys. Status Solidi C, Vol. 0, No. 1, p. 214, 2002.

[12] S. W. Chae, K. C. Kim, D. H. Kim, T. G. Kim, S. K. Yoon, B. W. Oh, D. S. Kim, H. K. Kim, and Y. M. Sung, "Highly transparent and low-resistant ZnNi/indium tin oxide ohmic contact on p-type GaN", Appl. Phys. Lett., Vol. 90, No. 18, p. 1101, 2007.