

Ni/Au와 Au/Al 전극 증착에 의한 GaN의 전기적 특성 연구

이태근 · 최종운 · 허재근
서울산업대학교 신소재공학과

Electrical Behavior of Ni/Ti and Au/Al Contact Metallization on GaN

Tae-kun Lee, Jong-un Choi and Jae-kun Huh

Dept. of Advanced Materials Sci. & Eng., Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

요 약

c-plane을 갖는 sapphire 기판위에 (0002) 면으로 성장된 epitaxial GaN의 발광특성을 조사하기 위하여 MQW LED를 제작하였고, Ni/Au/p-GaN 전극 증착에 의한 전기적 특성을 연구하였다. 470 nm를 갖는 청색 단파장 발광 특성을 나타내었고, 온도가 올라감에 따라 I-V 특성이 선형적으로 감소하였다. 300°C에서 TLM 법으로 측정된 Ni/Au 전극 접촉 저항은 $2 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ 를 나타내었다.

Abstract

Electrical properties of Ni/Au/p-GaN and optical properties of epitaxial GaN MQW LED on sapphire were characterized. At 20 mA forward bias, GaN MQW emitted in the blue at 470 nm. Current-voltage (I-V) characteristics were decreased linearly with the annealing temperature. The resistivity of Ni/Au contacts was found by TLM measurements to be of device quality ($2 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$).

1. 서 론

높은 출력 준위, 고온과 부식의 외부 조건에 대한 안정성, 넓은 대역폭을 갖는 III-V족 GaN 반도체는 우수한 열전도도, 짧은 파장으로 고밀도의 저장능력을 갖고 있어 청색과 UV 발광소자로 응용될 수 있는 유망한 재료이다. 그러나, 아직까지도 청색 레이저 다이오드가 실용화 단계에 이르기에는 몇 가지 해결해야 하는 문제점이 남아 있고, 청색 발광소자도 Nakamura 그룹이 속해 있는 Nichia 등¹⁾을 비롯한 몇몇 소수 회사에서만 생산되고 있는 상황으로 이 분야의 기술은 전 세계적으로도 최첨단 기술에 속한다. 청색 발광 소자 및 레이저 개발에 있어서 가장 심각한 문제는 박막 증착에 있어서 적절한 기판이 없다는 점이다.

GaN의 물리적인 특성을 고찰하는 연구에 우선

하여 대형의 bulk 단결정의 성장과 $10^{17}/\text{cm}^3$ 이하의 잔류 도핑농도, $10^3/\text{cm}^3$ 이하의 전위 밀도를 갖는 고품질 재료의 공정개발에 초점이 맞추어져 왔다. Nakamura 등¹⁾은 상온에서 35시간 동안 작동하는 연속 레이저 다이오드를 개발하였다. GaN의 증기압이 높아서 고품질의 대형의 단결정 성장이 어려우므로, 결함이 없는 epitaxial GaN 성장은 이상적인 기판의 선택, buffer layer, 저온에서의 성장 및 결정학적인 방위에 의한 많은 연구가 진행되어 왔다. GaN 성장 시 격자 상수의 차이에 의한 부정합과 열적으로 안정한 완벽한 기판은 존재하지 않는다. SiC, MgO, ZnO 등이 기대되는 재료이긴 하지만 Sapphire 기판이 우선적으로 선택되어 왔다.

GaN 반도체 소자의 parameter 중 처리속도와 고출력을 수행하는 역할은 ohmic contact 저항에 의

해 제약을 받게 된다. 특히 큰 대역폭을 갖는 반도체에서는 저항이 큰 접촉성에 의한 큰 Schottky barrier 높이 때문에 더욱 중요한 변수가 된다. ohmic contact를 위한 금속 전극 재료의 선택은 최적의 barrier 높이, 작은 flexibility 등을 고려하여 $10^{-4} \Omega/\text{cm}^2$ 이하의 저항값과 반응성이 없는 재료를 선택하여야 한다. Al과 Au 전극을 이용하여 $10^{-4} \sim 10^{-3} \Omega/\text{cm}^2$, Ti/Au $7.8 \times 10^{-4} \Omega/\text{cm}^2$, Au/Ni, TiW 등의 전극 재료가 보고된 바 있다.²⁾ 또한 Ti/Al 전극을 이용하여 $8 \times 10^{-6} \Omega/\text{cm}^2$ 저항값과 N의 out diffusion으로 GaN 표면에 TiNx를 생성하여 $10^{20}/\text{cm}^3$ 의 n type 접촉 전극을 사용하였으나,³⁾ 아직 미진한 단계이며, 열화손상이 없는 최적의 전극재료와 barrier 높이에 대한 연구가 매우 필요하다.

본 연구에서는 sapphire 기판위에 성장된 epitaxial GaN의 진동모드의 해석을 통하여 결정학적인 거동변화에 의해 물성변화 거동을 정량적으로 고찰하고자 한다. 또한 Multi Quantum Well(MQW) LED를 제작하여 발광특성을 조사하고, 전극과 GaN의 접촉특성과 전기적 특성 분석으로 고온과 고출력 소자 작동에 적합한 전극재료의 최적화 기구를 규명하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 MOCVD법에 의해 c-plane을 갖는 sapphire substrate 위에 성장 시킨 (0002) GaN 시편을 사용하였다. 기판위에 성장된 epitaxial GaN의 진동 모드의 해석을 하기 위하여 광범위한 Phonon 격자 흡수 스펙트럼을 알아볼 수 있는 IR 분광법을 통해 성장된 박막의 특성을 조사하였다.

활성층의 구조가 다중양자우물구조(MQW)를 갖는 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 기본적인 단순 구조의 p-n 접합 다이오드를 제작하여 PL과 EL를 통해 발광특성을 조사하였다.

전극 재료는 Ni/Au와 Al/Au를 사용하였고, 전극의 증착은 전극에 따라 각각 Electron beam evaporation과 Thermal evaporation 방법으로 증착하였다. n type 전극재료로는 200 Å Au/500 Å Al, p type으로는 200 Å Ni/ 500 Å Au가 되게 증

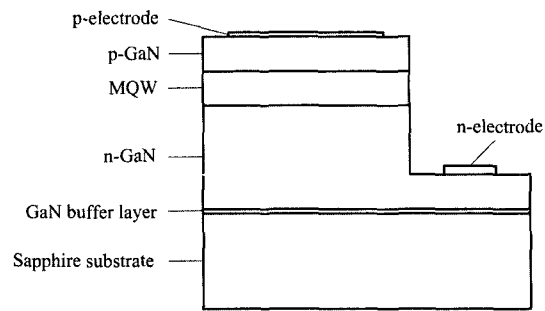


Fig. 1. The structure of blue MQW LED.

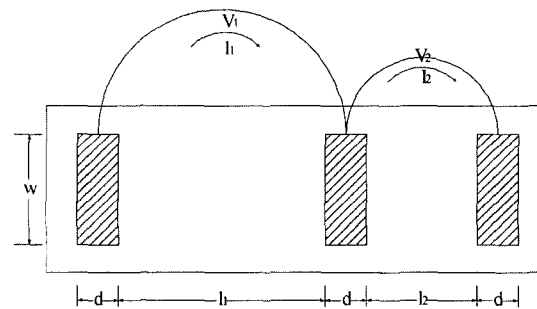


Fig. 2. Sample configuration for I-V and TLM characterization.

착하였다. 또한 증착 후 시편을 N_2 분위기 하에서 300°C , 350°C , 400°C , 450°C 와 500°C 으로 각각 1시간 동안 유지하여 열처리하였다.

접합된 전극의 전기적 특성을 조사하기 위하여 TLM(Transmission Line Mode)법을 이용하여 제작된 시편의 I-V 특성을 조사하였다. TLM법으로 제작한 시편에서 접촉 저항값을 산출할 수가 있는데, 계산 방법은 Fig. 2의 계산 모식도와 같이 계산되어 질 수 있다. 그림에서와 같이 두 전극 간에 인가된 전압으로 발생한 저항값을 측정하여 접촉 저항값을 구할 수 있는데, 측정된 접촉 저항값 ρ_c 는 다음 식과 같이 계산 된다.

$$\rho_c = R_c w d$$

$$2R_c = (R_2 l_1 - R_1 l_2) / (l_1 - l_2)$$

3. 실험 결과 및 고찰

c-plane을 갖는 sapphire substrate 위에서 (0002)면으로 성장된 epitaxial GaN 선택하여 결함에 의

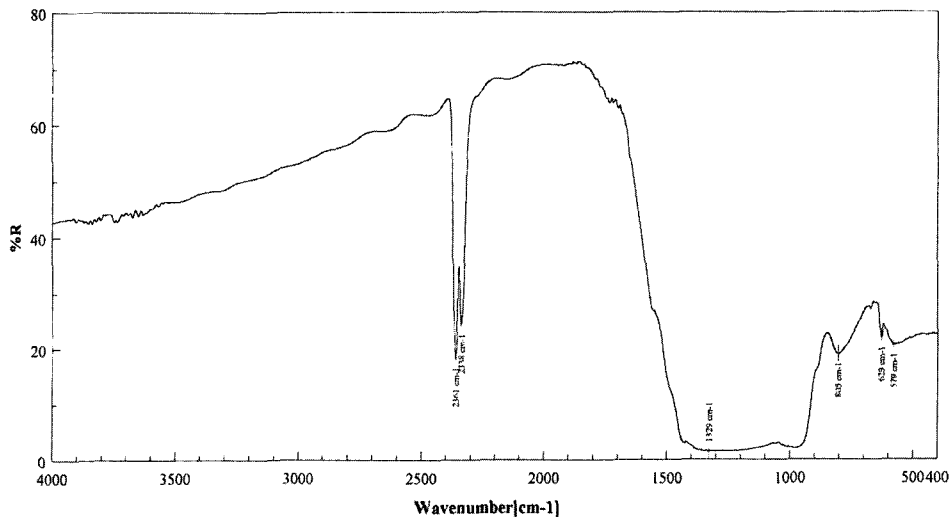


Fig. 3. IR spectrum of GaN grown on sapphire.

Table 1. 질화물 반도체의 융점과 융점에서의 분해압

| Nitrides | T_m (K) | P_{N_2} (kbar) |
|----------|-----------|------------------|
| AlN | ~3500 | 0.2 |
| GaN | ~2800 | 45 |
| InN | ~2200 | 60 |

한 phonon 진동모드를 해석하기 위하여 IR spectrum 분광 분석 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

GaN는 성장시 열적으로 혹은 격자 상수의 측면에서 정합을 이루는 적당한 기판이 존재하지 않고, 높은 융점과 높은 질소의 분해압 때문에 일반적인 bulk 형태의 단결정으로 성장할 수 없다. 질화물 반도체에 대하여 추정되는 융점과 이에 대응하는 질소 압력을 Table 1에 나타내었다.⁴⁾ GaN의 경우 융점이 2800 K이고 질소 분해압이 약 40 kbar 이상이므로 지금까지 고품질의 단결정 성장의 어려움이 있는 실정이다.

이상의 이유로 인해 일반적으로 알려져 있는 방법으로 성장된 undoped GaN는 n-type 특성을 나타내며, 이는 고온, 고압의 성장 분위기에서 GaN 표면으로 탈착 (desorption)되는 V_N 때문이라고 알려져 있다.⁵⁾

또한 substrate와의 부정합으로 인한 strain 발생과, epitaxial GaN 성장시 GaN 내에 생성된 V_{Ga} 과 V_N 가 도핑 과정에서 불순물 원자들과 반응하여

GaN이 가지고 있는 기본 진동 모드가 변화돼 새로운 진동 모드가 생성할 수 있다. 따라서 본 실험에서 V_{Ga} 과 V_N 로 인한 새로운 진동 모드의 발생 여부를 IR spectrum 분광 분석으로 조사하였다.

일반적으로 V_{Ga} 에 의해서는 3100 cm^{-1} , 또한 3470 cm^{-1} 에 흡수 스펙트럼이 나타난다. 또한 V_N 는 600 cm^{-1} 부근에서 흡수 스펙트럼이 나타난다고 알려져 있다.⁶⁾ Fig. 3에서 보면 V_{Ga} 과 V_N 에 의한 흡수 스펙트럼이 나타나지 않은 sapphire 기판 위에 성장된 (0002)면의 전형적인 GaN의 흡수 스펙트럼을 보여주었다.

이와 같은 결과는 앞으로 GaN 박막의 성장시 발생될 수 있는 결함등으로 인한 새로운 진동 모드의 해석을 위한 기초적인 분석 결과로 사용될 수 있을 것이다. 또한 GaN 성장시 기판과의 부정합과 격자 상수 및 열팽창 계수의 차이 등으로 발생되는 strain이 흡수 스펙트럼에 이동 변화를 야기할 수 있으므로 IR 분석을 통해 다양하게 성장된 GaN의 특성 분석에 기초적인 자료 제공을 할 수 있을 것이라 생각된다.

다중 양자우물 구조를 활성층으로 한 p-n 접합 다이오드를 Fig. 1과 같이 제작하여, LED의 광학적 특성을 분석하기 위해 PL 분석과 EL 분석을 하였다. 순방향 전류(forward current)를 20 mA로 인가했을 때의 PL(Photoluminescence) 분석결과를

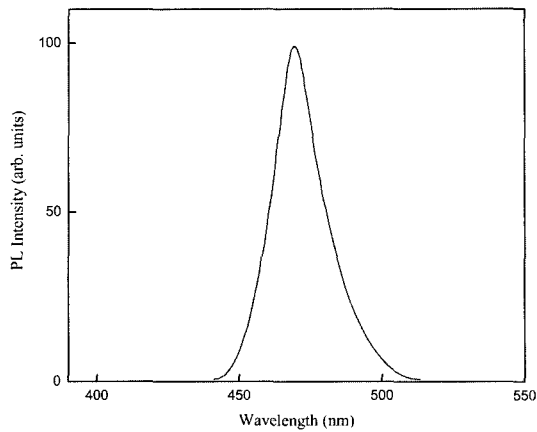


Fig. 4. Photoluminescence of blue MQW LED at a forward current of 20 mA.

Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에서는 발광 파장 λ 가 470.97 nm, 표준 편차 2.51 nm을 갖는 단파장의 blue LED peak를 나타내었다. 또한 EL 분석 결과에서도 λ 가 472.97 nm를 나타내어 전형적인 blue LED의 peak를 보여주었다.

열처리 온도 변화에 따른 Ni/Au/p-GaN 각각 시편들의 I-V 특성을 Fig. 5에 나타내었다. 온도 변화에 따라 morphology의 큰 변화가 나타나지 않았으나, 전극의 열처리 온도가 300°C에서 500°C로 증가함에 따라 I-V 특성이 점차 선형적으로 감소함을 볼 수 있었다.

일반적으로 GaN의 발광효율은 크게 전압 효율, 내부양자효율, 외부양자효율로 결정되어질 수 있

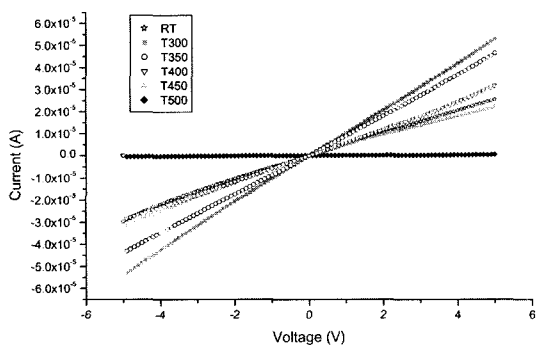


Fig. 5. Annealing temperature dependence of I-V characteristics of Ni/Au contacts on p-GaN (60 min anneal time).

다.⁷⁾ 이중 외부 양자효율은 다이오드의 외형을 이루는 에폭시의 선택과 제작에 관련된 것으로 기존에 개발되어 있는 것을 활용할 수 있다. 그러므로 발광효율을 증대시키기 위해서는 내부양자효율 및 전압 효율을 증가시키는 것이 필수적이다. 내부양자효율의 개선을 위해서는 전술한 양자우물 구조를 이용한 전자와 정공의 결합 확률을 높이는 것이 효과적이다. 전압효율은 반도체 내부의 저항 및 반도체와 전극간의 접촉저항에 의하여 결정된다. 따라서, 전압효율을 높이기 위해서는 접촉저항이 낮은 p형 금속 오믹 접합 전극의 개발이 필수라 할 수 있다.

Ni/Au/p-GaN 시편 중 서냉온도가 300°C일때 I-V 특성이 가장 우수하였고 TLM(Transmission Line Mode)법을 이용하여 접촉 저항값을 계산하였다.

200 Å Ni/500 Å Au/p-GaN로 300°C에서 열처리 한 시편의 접촉저항 ρ_c 는 $2 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 이었다. 본 실험에서 실행한 p형 GaN 반도체의 전극 접촉 저항값, $\rho_c = 2 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 는 일반적인 발광다이오드 발전시 충분한 발광효율을 얻을 수 있는 전극 접촉 저항을 나타내었다.

4. 결 론

본 실험에서는 c-plane을 갖는 sapphire 기판 위에 성장된 Epitaxial GaN의 진동 모드의 해석을 위한 IR 분광 분석을 통해 성장된 박막의 특성을 조사하였다. MQW LED를 제작하여 발광 특성과 Ni/Au, Au/Al 전극을 증착하여 전극 재료와 열처리 온도에 따른 전기적 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

성장된 GaN 박막이 VGa에 의한 3100 cm^{-1} , 3470 cm^{-1} 부근의 VGa에 의한 흡수 스펙트럼과 600 cm^{-1} 의 VN의 흡수 스펙트럼은 나타나지 않은 전형적인 GaN의 흡수스펙트럼을 나타내어, 단결정 성장 시 결정학적 거동 변화에 발생할 수 있는 변화에 대해 기초적인 분석 자료로 사용될 수 있다고 생각된다.

MQW LED를 제작하여 약 470 nm의 파장을 갖는 단파장 GaN 광전소자의 전형적인 PL peak와

EL peak를 얻음으로 청색 단파장 발진을 확인할 수 있었다.

Ni/Au/p-GaN의 I-V 특성은 300°C에서 접촉저항 ρ_c 는 $2 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 을 나타내었고, 또한 열처리 온도가 증가할 때 전극과의 접촉 저항은 증가하였다.

참고문헌

- 1) Nakamura, S., *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 449 (1997).
- 2) Nakamura, S. *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 30L (1991).
- 3) Cao, X. A. *et al.*, *MRS Internet J. Nitride Semicond. Res.*, 4S1, G6, 39 (1999).
- 4) Porowski, S. and Grzegory, I., *GaN and Related Materials* (edited by S. J. Peaetion), Gordon and Breach Science Amsterdam, Ch.9 (1997).
- 5) Strite, S. *et al.*, *J. Vac. Sci. Technol.*, B **10**(4) (1992).
- 6) Morkoc, H. *et al.*, *J Appl. Phys.*, **76**(3) (1994).
- 7) Yamada, N. and 可視光, LED의 高効率化, 應用物理, **68**(2), 139-145 (1998, 9).