

저온 성장 AlN 층이 삽입된 Al_{0.55}Ga_{0.45}N/AlN/GaN 이종접합 구조의 구조적 특성 및 이차원 전자가스의 광학적 특성

곽호상* · 이규승* · 김희진** · 윤의준** · 조용훈*

*충북대학교 물리학과, 청주 361-763

**서울대학교 재료공학과, 서울 151-742

(2007년 11월 9일 받음)

저온에서 성장된 AlN (LT-AlN)층이 삽입된 Al_xGa_{1-x}N/LT-AlN/GaN 이종접합 구조를 금속유기 화학기상 증착법 (metal-organic chemical vapor deposition)을 사용하여 사파이어 기판 위에 제작하였다. Rutherford backscattering spectroscopy 실험을 통하여 Al_xGa_{1-x}N층의 Al의 조성비 x가 55% 임을 확인하였고, X-선 역격자 공간 mapping을 통하여 층간 변형력을 조사하였다. LT-AlN층의 삽입 여하에 따른 Al_{0.55}Ga_{0.45}N 층의 깨짐 현상을 광학현미경과 주사전자현미경을 통하여 조사하였는데, LT-AlN 층이 삽입된 시료의 경우에 깨짐 현상이 현저히 줄어든 Al_{0.55}Ga_{0.45}N 층을 얻을 수 있었다. 뿐만 아니라 LT-AlN 층이 삽입된 Al_{0.55}Ga_{0.45}N/LT-AlN/GaN 이종접합 구조에 대하여 이차원 전자가스 (two-dimensional electron gas, 2DEG) 관련된 photoluminescence (PL) 신호를 관찰하였다. 이 시료에 대하여 온도 변화에 따른 PL 실험을 수행하여 100 K 근방까지 2DEG 관련된 PL 신호를 관찰하였다. 여기광 세기에 따른 PL 실험을 통하여 ~3.411 eV에서 나타난 2DEG PL 신호와 함께 ~3.437 eV에서도 PL 신호가 관측되었는데, 이는 AlGaN/LT-AlN/GaN 계면에 형성된 2DEG 버금띠와 Fermi 에너지 준위에서의 재결합 특성으로 각각 해석되었다.

주제어 : AlGaN/GaN, AlN, 이차원 전자가스, photoluminescence, 금속유기 화학기상 증착법

I. 서 론

질화물 반도체는 light emitting diodes, laser diodes, photodetectors와 같은 광전소자 뿐만 아니라, 열적, 화학적 그리고 기계적으로 뛰어난 내구성의 장점을 활용할 수 있는 고온, 고출력의 high electron mobility transistors (HEMT)와 같은 전자소자 분야로의 활용 가능성이 높은 물질계이다 [1-4]. 특히, AlGaN는 Al 조성비에 따라 넓은 대역의 에너지 밴드갭을 조절 할 수 있어 광검출 반응도가 높고 별도의 필터를 사용하지 않는 자외선 검출기로서도 활용될 수 있다 [5-9]. 이러한 소자 응용에 있어서, AlGaN 층은 대부분 GaN 층 위에 성장을 하게 되는데, 두 층간에 격자 부정합에 의한 장력 (tensile)에 의한 변형 (strain)으로 AlGaN 층을 두껍게 키우거나 Al 조성을 높일 경우 깨짐 (crack) 없는 AlGaN 층을 키우는 것이 어렵다. 이러한 깨짐 특성은 실제 소자를 제작하는데 있어서 특성을 저하시키는 요소로서 작용을 하게 되므로, 박막의 품질을 향상 시

킬 수 있는 방법에 대한 연구가 중요하다. 최근 sapphire 기판과 GaN 격자 부정합이 17% 임에도 불구하고 우수한 특성의 GaN 박막을 성장한 결과를 보면, 두 계면 사이에 low-temperature (LT) GaN 완충층을 성장함으로써 기판과 GaN 박막 사이에 생길 깨짐을 줄여주는 효과를 기대할 수 있다. Lee 그룹[10]이나 Jin 그룹[11]에서는 이러한 결과의 연장선상에서 AlGaN 박막의 질 향상을 위하여 AlGaN 층과 GaN 층 사이에 LT-AlN 층을 성장함으로써 두꺼운 AlGaN 층에서도 깨짐이 없는 박막이 성장될 수 있음을 보고하였다. 그러나 이들 그룹에서 사용한 Al 조성비는 각각 25~38% 와 25%로서, 보다 짧은 파장의 자외선 영역의 검출기나 HEMT 소자의 성능을 향상시키기에는 아직 충분히 크지 못한 상태이다. 특히, GaN 기반 HEMT 소자에서 AlGaN는 장벽층의 역할을 하는데 Al 조성비가 낮을 경우, AlGaN/GaN 이종접합 계면에 형성된 삼각형 모양의 양자우물(triangular quantum well)에서 운반자 채움 효과나 열적 효과에 의해 운반자들이 에너지 장벽을 넘게 되

* [전자우편] yonghcho@chungbuk.ac.kr

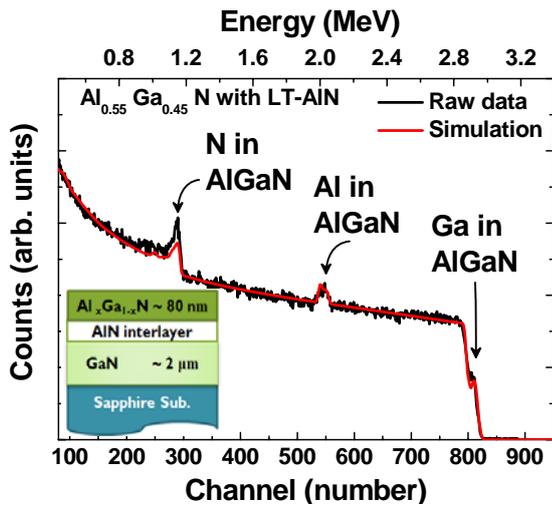


Fig. 1. RBS experimental and simulation data for $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}/\text{GaN}$ heterostructure with LT-AlN interlayer. A schematic diagram of $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}/\text{LT-AlN}/\text{GaN}$ heterostructures is shown in the inset.

어 채널의 효율을 저하시키는 특성을 보이게 된다 [12]. 따라서 낮은 Al 조성비에서 뿐만 아니라 높은 Al 조성비에서도 깨짐이 없는 AlGaIn 박막을 성장시키는 연구는 매우 중요하다. 본 연구에서는 LT-AlN 층의 존재 여부에 따라 성장된 55%의 Al 조성비를 갖는 AlGaIn 박막의 특성에 대하여 구조적으로 조사하였으며, 이러한 AlGaIn/LT-AlN/GaN 이중접합구조 계면에서 삼각형 양자우물에 형성된 이차원 전자가스(two-dimensional electron gas; 2DEG)로 인한 광학적 특성을 체계적으로 연구하였다.

II. 실험

본 연구에 사용된 시료는 금속유기 화학기상 증착법 (metal-organic chemical vapor deposition)을 이용하여 사파이어 기판 위에 성장되었는데, 우선 1080°C에서 2.0 μm GaN 완충층을 성장하고 나서 550°C에서 (Ref.) 0 nm 와 (a) 17.5 nm 두께의 LT-AlN 층을 성장하였다. 그 위에 다시 1080°C에서 ~80 nm 두께의 AlGaIn 층을 성장하였는데, LT-AlN 층이 삽입된 이중접합 구조에 대한 개략도를 Fig. 1의 삽입 그림으로 나타내었다. Al 조성비와 각 구조의 결정성을 조사하기 위해 Rutherford backscattering spectroscopy (RBS)와 X-선 회절 실험을 각각 수행하였

다. Fig. 1에서 LT-AlN 층이 있는 AlGaIn/GaN 이중접합 구조 시료 (a)에 대해 RBS 측정을 통하여 얻은 스펙트럼과 시뮬레이션 결과를 나타내었으며, 이로부터 AlGaIn 층의 Al 조성비가 55% 임이 확인되었다. LT-AlN 층이 없는 시료 (Ref.)에서도 같은 조성비의 결과를 얻었으며, 이와 함께 $\omega-2\theta$ scan X-선 회절 실험을 통해서도 RBS 측정과 거의 같은 결과를 얻을 수 있었다. 구조적 특성을 조사하기 위하여 역격자점 주위의 X-선 산란강도를 측정하였으며, 광학현미경 및 주사전자현미경을 통하여 시료 표면의 깨짐 특성을 조사하였다. 또한 광학적 특성을 조사하기 위해 온도 변화에 따른 photoluminescence (PL)과 레이저 여기광 세기에 따른 PL 실험을 수행하였다. 여기용 광원으로는 266 nm 파장을 갖는 Nd:YAG 펄스 레이저(광출력 0.5 mW, 펄스 폭 ~500 ps, 펄스주기 ~10 kHz)와 325 nm 파장을 갖는 He-Cd 레이저(광출력 10 mW)를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 2는 시료 (Ref.)와 (a)의 GaN (105)에 대한 asymmetric reciprocal space mapping (RSM) 결과로서, GaN 층과 AlGaIn 층의 격자간 차이에 따른 변형 상태를 알 수 있다 [13]. GaN 층 위에 성장된 AlGaIn 층은 장력에 의한 변형을 받게 됨으로써 Al의 조성비가 증가함에 따라 보다 큰 변형력을 받게 된다. 시료 (Ref.)의 RSM 이미지를 보면 $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}$ 층이 GaN 층에 대하여 완전한 변형 (fully strained)이 되어 있음을 알 수 있다 (점선 표시). 그러나, 우측의 광학현미경 이미지 (수백 μm 범위)와 주사전자현미경 이미지 (수 μm 범위)를 보면, 성장하는 동안 높은 Al 조성비로 인해 박막의 깨짐 네트워크가 형성되어 있음을 알 수 있다. 일반적으로 깨짐이 일어나게 되면 변형이 줄어들며 자신의 격자 크기를 찾아 가게 됨으로 GaN의 격자와는 다르게 나타나야 하지만, 본 결과에서는 깨짐이 있음에도 불구하고 여전히 장력에 의한 변형이 남아 있는 것을 알 수 있는데, AlGaIn 층 표면에 깨짐이 발생하였음에도 장력에 의한 변형 특성이 유지되는 것을 보고한 그룹도 있다 [14]. 하지만 이중접합 계면에 있어서 깨짐은 소자를 제작한 후 나타나는 특성에 있어서 부정적인 효과를 가져 오게 된다. 그에 반해, LT-AlN 층을 성장한 시료 (a)의 경우, 시료 (Ref.)와 비교해 보면 $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}$ 층의 깨짐이

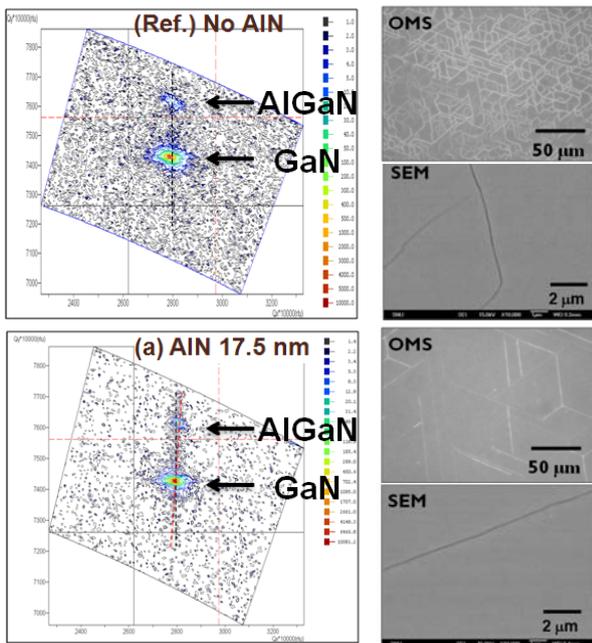


Fig. 2. (105) reciprocal space mapping images of AlGaN/GaN heterostructures without (reference sample) and with 17.5-nm thick LT-AlN interlayer (sample a). Optical microscope and SEM images for surface area of the samples are also shown.

현저하게 줄어드는 것을 관찰 할 수 있는데, 이는 GaN 층과 AlGaN 층 사이에 삽입된 LT-AlN 층이 GaN 층에 대하여 큰 장력을 받게 되고 이러한 변형력을 받은 LT-AlN 층 위에 다시 성장된 AlGaN 층은 GaN 층 위에 바로 성장된 경우보다 상대적으로 보다 적은 장력을 받게 된다. 또한 LT-AlN 층이 임계두께 이상이 되면 compressive 변형력을 받게 된다 [14]. 실제로 시료 (a)에서의 $Al_{0.55}Ga_{0.45}N$ 는 LT-AlN 층의 영향을 받아 GaN에 대한 완전한 변형력이 조금씩 이완되어지는 것으로 조사되었다 (다른 점선으로 표시). 그림을 보이지 않았으나 LT-AlN 층의 두께가 더 증가함에 따라 깨짐 없는 $Al_{0.55}Ga_{0.45}N$ 층을 관찰하였으며, RSM 측정에서는 시료 (Ref.)와 비교하여 완전한 변형력을 의미하는 수직축으로부터 $Al_{0.55}Ga_{0.45}N$ 위치가 점차 벗어나는 것으로 조사되었다. 그리고 ω -scan XRD 측정을 통하여 시료 (Ref.)와 (a)의 AlGaN 층에 대한 반치폭 변화를 살펴 본 결과, 시료 (Ref.)는 630 arcsec, 시료 (a)는 550 arcsec로 각각 조사 되었는데, 이는 AlGaN 층에 대한 결정 특성이 LT-AlN 층에 의해 개선되었음을 나타낸다. 따라서 이러한 ω -scan XRD 측정과 AlGaN 층의 깨짐 측정으로부터

터, 삽입된 LT-AlN 층이 AlGaN 층에 발생하는 장력 변형력에 대해 이완하는 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3(a)는 10 K에서 266 nm 파장을 갖는 Nd:YAG 펄스 레이저를 사용하여 얻은 PL 스펙트럼을 보이고 있다. 두 시료에 대하여 약 3.476 eV에서 GaN 신호를 얻었으며, 약 90 meV의 에너지 차이를 보이는 GaN의 첫 번째 longitudinal optical (LO) phonon replica를 관찰하였다. 하지만 시료 (a)의 경우 LO phonon replica 신호는 시료 (ref.)에 비하여 넓게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이를 보다 자세히 관찰하기 위해 시료 (a)와 (Ref.)에 대해 10 K에서 325 nm 파장을 갖는 He-Cd 레이저를 사용하여 확인한 결과, Fig. 3(b)에서와 같이 GaN-1LO 신호와는 다른 에너지인 ~ 3.437 eV에서 나타나고 있음을 확인하였으며, 이는 LT-AlN/GaN의 이종접합 계면에 존재하는 2DEG 신호로 조사 되었다 [15]. 반면, 깨짐 네트워크가 형성되어 있는 시료 (Ref.)에서는 2DEG 신호가 관측되지 않았다. 이는 AlGaN 층이 두꺼워지면 AlGaN 층의 깨짐에 의한 결함으로 광여기된 운반자의 손실에 기여를 하게 되고 전자 이동도의 감소나 계면에서의 거칠기에도 영향을 주게 되므로 [16], 2DEG와 관련된 광학적 신호의 관측이 어려울 것으로 생각된다. 그러나 AlGaN 층과 GaN 층 사이에 LT-AlN 층을 삽입함으로써 깨짐 네트워크가 현저히 줄어들게 되므로, 구조적 특성 뿐만 아니라 광학적 특성 또한 개선되어 이종접합 계면에 형성되는 2DEG 관련 신호가 관찰되었다.

Fig. 4(a)에서는 시료 (a)에 대하여 10 K에서 300 K까지 온도를 증가시키며 측정한 PL 실험 결과이다. 온도가 증가함에 따라 GaN 신호와 GaN-1LO (점선으로 표시)의 PL 세기는 감소하고 발광 파장은 적색 편이가 일어나는 것을 알 수 있다. GaN PL 신호는 온도 증가에 따라 낮은 에너지 쪽으로 움직이고 있는 반면, 2DEG 신호 (원으로 표시)의 에너지 위치는 (세기가 줄어들어 보기 힘든 100 K까지 관측한 결과) 크게 변화하지 않는 것으로 관측되었다. 따라서 GaN의 신호와 2DEG 발광 신호의 에너지 차이는 온도가 증가함에 따라 점차 감소하는 것으로 조사되었다 [17]. Shen 그룹과 Hsu 그룹에서도 이와 같은 2DEG 신호와 관련된 특성이 보고되었는데, 이러한 특성은 AlN 층과 GaN 층 계면사이의 전도대에서 큰 불연속성과 GaN 위의 AlN 층에서의 강한 압전 효과로서 해석될 수 있다 [18, 19].

Fig. 4(b)에서는, 여기광 세기를 0.02 mW에서 20.0 mW까지 변화시키며 측정한 PL 실험 결과이다. 여기광 세

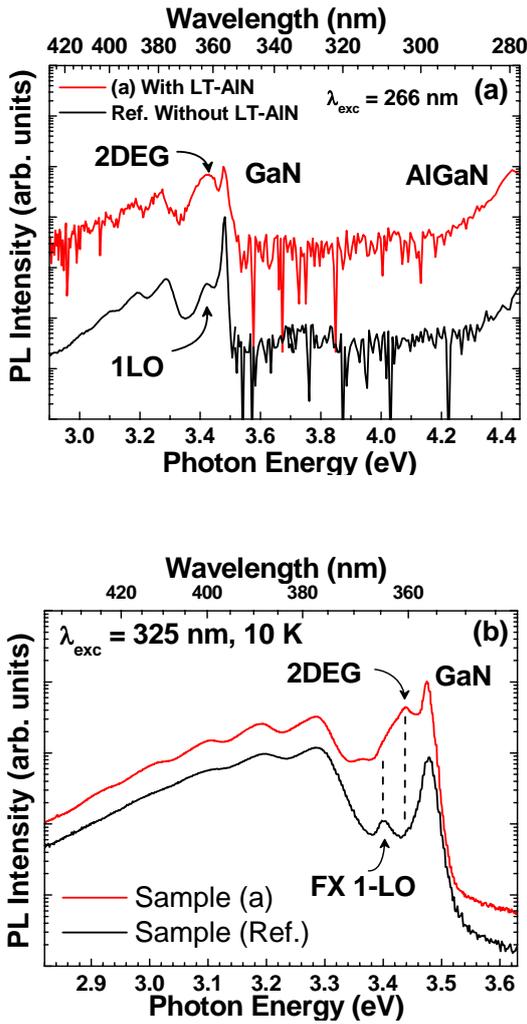


Fig. 3. 10 K PL spectra of AlGaN/GaN heterostructure without (reference sample) and with LT-AlN interlayer (sample a) using (a) fourth harmonic generated Nd:YAG laser (266 nm) excitation and (b) cw He-Cd laser (325 nm) excitation.

기가 약 3.2 mW 이상의 경우 ~ 3.437 eV와 ~ 3.476 eV에서 2DEG 신호와 GaN 신호를 각각 얻었으며, 그 에너지 차이는 ~ 39 meV로 조사되었다. 여기광 세기가 ~ 1.0 mW 이하인 경우에 ~ 3.411 eV (E_A)에서 2DEG 관련된 신호가 먼저 나타난 후에, 여기광 세기를 증가함에 따라 (약 3.2 mW 이상의 경우) ~ 26 meV 차이를 가지며 ~ 3.437 eV (E_B)에서 새로운 2DEG 관련된 신호가 나타나는 것으로 조사되었다. 이는 낮은 에너지에 있던 E_A 신호가 여기광 세기가 증가함에 따라 높은 에너지로 이동하는 것이 아니라 각각의 2DEG 관련 E_A 와 E_B 의 신호가 있는 것으로 여겨진다. 최근 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ 이종접합 계면에서의 2DEG 버금띠 계산

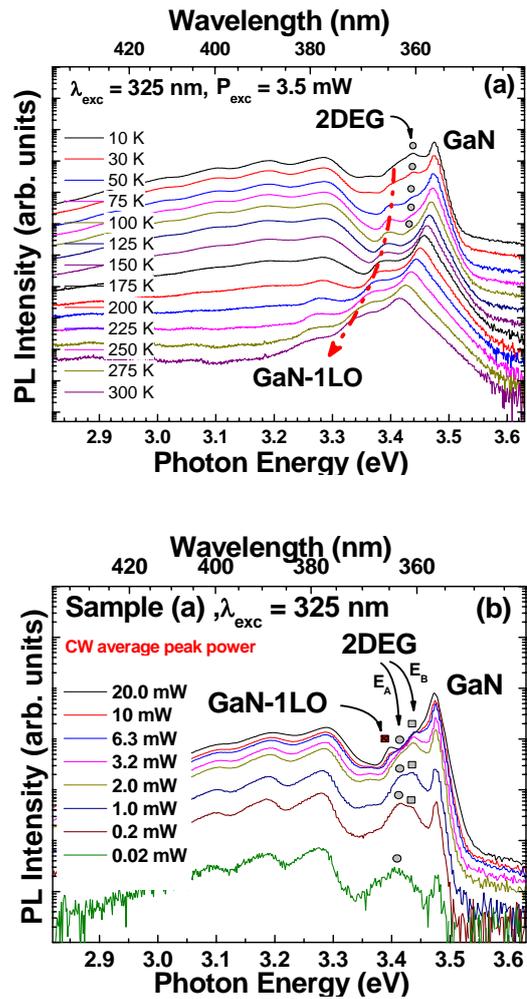


Fig. 4. (a) Temperature dependent PL spectra and (b) excitation-power dependent PL spectra of AlGaN/GaN heterostructure with LT-AlN interlayer (sample a).

결과에 의하면, 2DEG 버금띠 밴드와 Fermi 에너지 준위에서의 재결합이 각각 가능함을 보인 바 있다 [20]. 본 시료의 경우 $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}/\text{LT-AlN}/\text{GaN}$ 이종접합에 형성된 2DEG 신호에 대한 광학적 특성이지만, 구조적으로 형성된 다른 밴드가 없으며 앞선 연구에서의 2DEG 버금띠 간격과 비교하여 유사한 값을 가진다는 점에서 두 E_A 와 E_B 의 신호는 AlGaN/LT-AlN/GaN 이종접합 계면에서 형성된 2DEG 버금띠와 Fermi 에너지 준위에서의 재결합 특성으로 각각 해석될 수 있다. 따라서, AlGaN 층과 GaN 층 사이에 LT-AlN 층을 삽입하여 깨짐이 없으며 최적화된 $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}$ 구조를 성장할 수 있음을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

사파이어 기판 위에 $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}/\text{GaN}$ 구조를 성장하였는데, 17.5 nm 두께의 LT-AlN 층을 삽입한 구조와 없는 구조에 대해 $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}$ 층의 구조적 특성과 광학적 특성을 조사하였다. LT-AlN 층이 삽입된 경우 캐짐이 현저히 줄어든 $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}$ 층을 얻었으며, LT-AlN 층이 삽입되지 않은 시료에서 보이지 않던 2DEG 관련된 신호를 관찰하였다. 온도 변화에 따른 PL 실험을 수행하여 100 K 근방까지 2DEG 신호가 유지됨을 관찰하였다. 여기광 세기에 따른 PL 실험에서 1.0 mW 이하의 세기에서 ~ 3.411 eV에 있던 2DEG 신호가 그 이상의 세기에서는 기존 신호와 함께 ~ 3.437 eV 에서도 신호가 관측되었는데, 이는 AlGaIn/LT-AlN/GaN 이종접합 계면에서 형성된 2DEG 버금띠와 Fermi 에너지 준위에서의 재결합 특성으로 각각 해석되었다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] S. Nakamura, G. Fasol, *The Blue Laser Diode*, Springer, Berlin 1997, p.277.
- [2] J. Han, M. H. Crakford, R. J. Shul, J. J. Figiel, M. Banas, L. Zhang, Y. K. Song, H. Zhou, A. V. Nuramikko, *Appl. Phys. Lett.* **73**, 1688 (1998).
- [3] M. Miyoshi, H. Ishikawa, T. Egawa, K. Asai, M. Mouri, T. Shibata, M. Tanaka, and O. Oda, *Appl. Phys. Lett.* **85**, 1710 (2004).
- [4] T. G. Zhu, U. Chowdhury, J. C. Denyszyn, M. M. Wong, and R. D. Dupuis, *J. Cryst. Growth* **248**, 548 (2003).
- [5] V. Kuryatkov, A. Chandolu, B. Borisov, G. Kipshidze, K. Shu, S. Nikishin, and H. Temkin, *Appl. Phys. Lett.* **82**, 1323 (2003).
- [6] P. Sandvik, K. Mi, F. Shahedipour, R. McClintock, A. Yasan, P. Kung, M. Razeghi, *J. Cryst. Growth* **231**, 366 (2001).
- [7] C. J. Collins, U. Chowdhury, M. M. Wong, B. Yang, A.L. Beck, R. D. Dupuis, and J. C. Campbell, *Appl. Phys. Lett.* **80**, 3754 (2002).
- [8] E. Monroy, F. Calle, J.L. Pau, E. Munoz, F. Omnes, B. Beaumont, and P. Gibart, *Phys. Stat. Sol.* **185**, 91 (2001).
- [9] E. Monroy, F. Calle, J.L. Pau, E. Munoz, F. Omnes, B. Beaumont, P. Gibart, *J. Cryst. Growth* **230**, 537 (2001).
- [10] I. H. Lee, T. G. Kim, Y. Park, *J. Crystal Growth* **234**, 305 (2002).
- [11] R. Q. Jin, J. P. Liu, J. C. Zhang, and H. Yang, *J. Crystal Growth* **268**, 35 (2002).
- [12] Y. C. Kong, Y. D. Zheng, C. H. Zhou, S. L. Gu, R. Zhang, P. Han, Y. Shi, and R. L. Jiang, *Appl. Phys. A* **84**, 95 (2006).
- [13] C. McAleese, M. J. Kappers, F. D. G. Rayment, P. Cherns, C. J. Humphreys, *J. Cryst. Growth* **272**, 475 (2004).
- [14] J. P. Zhang, H. M. Wang, M. E. Gaevski, C. Q. Chen, Q. Fareed, J. W. Yang, G. Simin, and M. Asif Khana, *Appl. Phys. Lett.* **80**, 3542 (2002).
- [15] H.-S. Kwack, Y. H. Cho, G. H. Kim, M. R. Park, D. H. Youn, S. B. Bae, K. - S. Lee, J. H. Lee, J. H. Lee, T. W. Kim, T. W. Kang, and K. L. Wang, *Appl. Phys. Lett.* **87**, 041909 (2005).
- [16] I. P. Smorchkova, L. Chen, T. Nates, L. Shen, S. Heikman, B. Moran, S. Keller, S. P. DenBaars, J. S. Speck, U. K. Mishra, *J. Appl. Phys.* **90**, 5196 (2001).
- [17] H. S. Kwack, Y. H. Cho, G. H. Kim, M. R. Park, D. H. Youn, S. B. Bae, K.-S. Lee, J. H. Lee, and J. H. Lee, *Phys. Stat. Sol. (c)* **3**, 2109 (2006).
- [18] L. Shen, S. Heikman, B. Moran, R. Coffie, N.-Q. Zhang, D. Buttari, I. P. Smorchkova, S. Keller, S. P. DenBaars, and U. K. Mishra, *IEEE Electron Device Lett.* **22**, 457 (2001).
- [19] L. Hsu and W. Walukiewicz, *J. Appl. Phys.* **85**, 3222 (1999).
- [20] H.-S. Kwack, S. B. Bae, K. S. Lee, J. H. Lee, J. H. Lee, and Y. H. Cho, *Saemulli* **53**, 412 (2006).

Structural properties and optical studies of two-dimensional electron gas in $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}/\text{GaN}$ heterostructures with low-temperature AlN interlayer

H. S. Kwack*, K. S. Lee*, H. J. Kim**, E. Yoon**, and Y. H. Cho*

*Department of Physics, Chungbuk National University, Cheongju 361-763

**School of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742

(Received November 9, 2007)

We have investigated the characteristics of $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}/\text{GaN}$ heterostructures with and without low-temperature (LT) AlN interlayer grown by metalorganic chemical vapor deposition. The structural and optical properties were systematically studied by Rutherford backscattering spectroscopy (RBS), X-ray diffraction (XRD), optical microscopy (OMS), scanning electron microscopy (SEM), and photoluminescence (PL). The Al content (x) of 55% and the structural properties of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ heterostructures were investigated by using RBS and XRD, respectively. We carried out OMS and SEM experiments and obtained a decrease of the crack network in $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}$ layer with LT-AlN interlayer. A two-dimensional electron gas (2DEG)-related PL peak located at ~ 3.437 eV was observed at 10 K for $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{N}/\text{GaN}$ with LT-AlN interlayer. The 2DEG-related emission intensity gradually decreased with increasing temperature and disappeared at temperatures around 100 K. In addition, with increasing the excitation power above 3.0 mW, two 2DEG-related PL peaks were observed at ~ 3.411 and ~ 3.437 eV. The observed lower-energy and higher-energy side 2DEG peaks were attributed to the transitions from the sub-band level and the Fermi energy level of 2DEG at the AlGaN/LT-AlN/GaN heterointerface, respectively.

Keywords : AlGaN/GaN, AlN, two-dimensional electron gas, photoluminescence, metalorganic chemical vapor deposition.

* [E-mail] yonghcho@chungbuk.ac.kr