

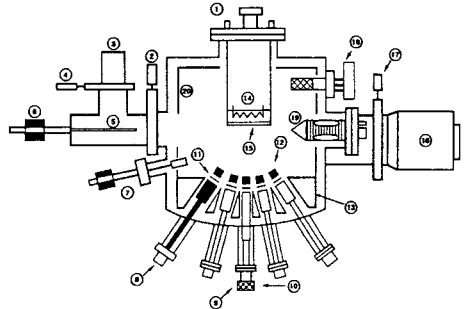
GAIVBE 기법에 의한 GaN 박막의 형성과 그 활용성에 관한 연구

강호철, 강이구, 이종석, 성만영, 박성희*
 고려대학교 전기공학과, 호서대학교 전자공학과*

Study on the Growth of GaN Film by GAIVBE Technique and Its Applications

Ho Cheol Kang, Ey Goo Kang, Jong Suk Lee, Man Young Sung, Sung Hee Park*
 Dept. of Electrical Engineering, Korea University, Dept. of Electronic Engineering, Heseo University*

Abstract - In this paper, we report a high quality GaN films with high hole concentrations and low resistivities without post growth treatment using a GAIVBE system equipped with a home-made inductively coupled RF plasma source. The room temperature hole concentrations obtained were $5 \times 10^{17} \sim 1.6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, and the mobilities were 2.5~8cm²/Vs. Also we have grown high quality n-type GaN films with the range of electron concentrations of $1.4 \times 10^{17} \sim 4.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ and the mobilities of 180~410cm²/Vs.



1. 서 론

현재 GaN는 청색 레이저 다이오드와 같은 차세대 반도체 소자의 개발에 있어서 가능성이 가장 높은 재료로 부각되고 있으며 InN 및 AlN와 병용하여 2~6 [eV]의 에너지 영역을 포함할 수 있는 광 IC 재료로서 개발 후 그 용도가 매우 다양하다. 따라서 본 연구에서는 Physical Vapour Deposition의 원리를 기본으로 하고 Ga를 Cluster화하여 이온화시킨 후 이를 N₂ 이온과 기판 표면에서 반응시켜 고품질의 결정성 GaN 박막을 형성하는 기법인 Gas Assisted Ionized Vapour Beam Epitaxy (GAIVBE) 시스템에 의해 결정성이 우수한 GaN 박막을 Si 기판 위에 형성하여 XRD와 PL 및 CL 측정을 통한 결정성 평가와 더불어 SIMS, TEM 및 SEM 분석을 통한 GaN 박막의 Morphology 해석과 향후 Blue Laser Diode, Power FET 및 OEC 소자에의 활용 가능성을 제시하고자 하였다.

- ① substrate manipulator ② neumatic valve
- ③ turbo molecular pump 60 l/s ④ gate valve
- ⑤ load-lock ⑥ magnet coupled feedthrough ⑦ flux monitor ⑧ E-beam unit
- ⑨ plasma unit ⑩ rf matching circuits ⑪ shutter
- ⑫ ionizer & accelerator ⑬ LN₂ shroud ⑭ heater
- ⑮ substrate ⑯ 1600 l/s turbo molecular pump
- ⑰ gate valve ⑱ RHEED gun ⑳ LN₂ shroud

그림 1. Schematic diagram of GAIVBE system

2. GAIVBE System의 구성 및 Effusion Cell의 설계

본 연구에서 제작한 GAIVBE System은 개략적으로 그림 1과 같으며 Process 중 가장 중요한 Parameter로는 성장하고자 하는 물질 원소의 클러스터(Cluster) 형성과 아울러 클러스터의 이온화 과정 및 이 이온화된 클러스터의 가속과 기판 표면에서의 반응에 의한 결정 성장이다. 또한, 기존의 MBE 및 MOCVD 방법과는 달리 클러스터화된 As 이온 또는 N₂ 플라즈마의 가속에 의해 기판 표면의 산화막 제거가 이루어지므로 저온 Process가 요구되는 화합물 반도체와 같은 결정 성장과 격자 부정합율이 큰 기판 위에 새로운 결정성장 등에 적합한 기법이다. 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 GAIVBE System의 구성은 Load Lock, 진공 배기 장치, 반응관 및 측정 부분으로 분할할 수 있으며 이 중에서도 반응관 내에 설치되는 Effusion cell이 결정 성장의 핵심 요소이다. 본 연구에서 사용한 GAIVBE System의 중요 Process 조건들을 표 1에 나타내었다.

표 1. Major process conditions of GAIVBE technique

PARAMETERS	CONDITIONS
Substrate Temperature [°C]	350 ~ 600
Acceleration Voltage [kV]	0.5 ~ 4
Ionizer Current [A]	0.5 ~ 3
Vacuum Pressure without N ₂ Plasma [Torr]	1 × 10 ⁻⁷
Vacuum Pressure with N ₂ Plasma [Torr]	1 ~ 2 × 10 ⁻⁴
Ga Source Temperature [°C]	850 ~ 1000

3. GaN 박막의 형성과 특성 분석

3.1 GaN 박막의 형성

GaN 박막을 성장하기 위해 P형 및 N형 <100>, 비저항 4~6(Ω-cm)의 Si 웨이퍼(Dynamic Nobel Silicon, Ltd, Italy)를 사용하였으며, 웨이퍼 표면의 유기물 및 초기 산화막을 제거한 후 GaN 박막을 성장하기 위하여 챔버 내에 loading 되었다. 이 때, GAIVBE System의 Deposition 챔버는 초기에 10⁻⁹ Torr로 진공시켰으며, N₂ Plasma 주입 후에는 1.5 × 10⁻⁴ Torr를 유지시키면서 표 1과 같은 성장 조건으로 GaN 박막을 형성하였다.

3.2 GaN 박막의 특성 분석

GAIVBE System에 의해 GaN 박막을 성장함에 있어서 Process 최적 조건을 도출하고자 PL 및 XRD 측정을 실시하여 그 결과를 그림 2와 그림 3에 나타내었다.

먼저 결정성이 우수하게 관측되고 있는 Process 조건에서 제작된 1 μ m 두께의 GaN 박막에 대한 PL 특성은 그림 2와 같이 Band Edge Peak와 DAP가 각각 3.42eV, 3.24eV에서 관측되었고 1-LO, 2-LO 및 3-LO peak 상태로 볼 때 결정성은 양호하게 나타나고 있다고 판단된다. 그림 3에서는 Ga의 이온화 여부와 이온화 전류의 크기를 변화시켜 얻어진 XRD 결과를 나타낸 것으로서 Ga의 이온화 전류가 1.4A인 경우 GaN 박막은 (0002)의 단일 Peak를 나타내는 단결정성을 보였다.

이상과 같이 PL 및 XRD 결과를 통해 얻어진 Process 최적 조건에 대하여 RHEED 패턴과 SEM에 의한 Morphology 특성을 분석하기 위하여 Acceleration 1.5KV, Plasma RF Power 350W 조건에서 Ionizer 전류를 변화시키며 RHEED 패턴을 측정하여 그림 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. RHEED 결과 역시 Ionizer 전류가 1.4A인 경우가 1A와 1.8A에 비하여 결정의 품질 면에 있어서 단결정성이 좋게 나타나고 있었으며, 그림 5에 나타낸 바와 같은 SEM 사진으로부터도 전류가 1.4A인 경우가 표면의 평탄성이 우수하게 관측되고 있다. 따라서 본 GAIVBE 기법에 의한 GaN 박막의 성장은 Ga를 이온화시키고 N₂ Plasma 상태에서 Ga 이온을 기판 표면을 향해 적절히 가속시킨 후 기판 표면에서 Ga과 N₂ 이온이 화학결합을 하도록 유도하는 것이 가장 효과적인 것으로 판단된다.

한편 그림 6은 Plasma RF power에 따른 성장된 GaN 박막의 Carrier 농도와 저항율을 나타낸 그림으로서 특성의 변화가 급준하게 일어나지 않는 300~400[W] 구간을 1차적인 N₂ Plasma의 RF power 조건으로 설정하여 다른 실험에 연계시켰다. 그리고 N₂ Plasma의 RF power에 따른 Carrier농도와 Hall mobility의 변화양상은 그림 7과 같이 RF power가 낮을수록 Carrier의 농도가 높고 Hall mobility도 대체적으로 높게 관측되고 있으며, RF power가 높을수록 Carrier 농도는 낮아지고 Hall mobility 역시 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 RF power가 높으면 N₂ 원자의 이온화율이 높아져 Ga 이온과 기판표면에서 반응하여 GaN 결정을 형성하는 과정에서 N₂ vacancy의 감소로 인해 Carrier 농도의 감소현상이 나타나고 있는 것으로 해석할 수 있다.

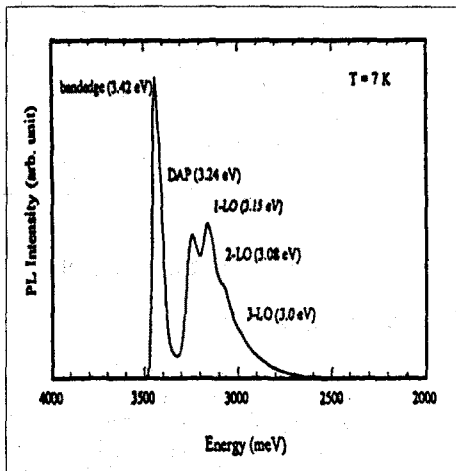
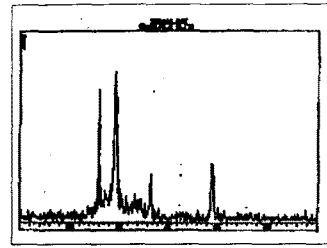
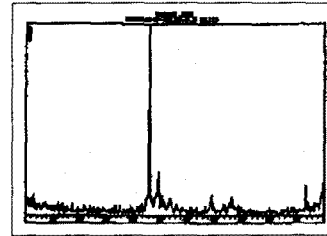


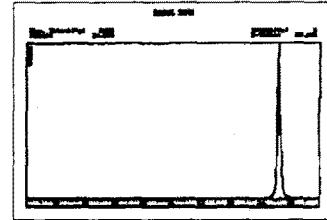
그림 2. Photoluminescence spectrum of 1 μ m thick GaN epitaxial layer.



(a)



(b)



(c)

그림 3. X-ray diffraction patterns of GaN films at different process conditions with N₂ plasma. (Acceleration voltage : 1.5kV, RF power : 350W)

- (a) GaN/Si(100) Neutral Ga
- (b) GaN/Si(100) Ionized Ga (Ionizer current : 0.5A)
- (c) GaN/Si(100) Ionized Ga (Ionizer current : 1.4A)



(a)

(b)



(c)

그림 4. RHEED patterns of GaN films (Acceleration voltage 1.5kV, Plasma RF power 350W)
 (a) Ionizer current 1A
 (b) Ionizer current 1.4A
 (c) Ionizer current 1.8A

3. 결 론

이상과 같이 GAIVBE 기법에 의해 GaN 박막을 성장하고 특성 분석을 실시한 결과 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있다. 즉, GAIVBE 기법에 의해 단결정 GaN 박막을 얻는데 성공하였으며 특성이 우수한 박막의 성장 조건은 기판온도 400~500℃, 가속전압 1.5kV, 이온화전류 1.4A로 관측되었다. 그리고, 대체적으로 특성이 우수한 P형 GaN 박막을 형성하였으며 상온에서 Hole 농도 $5 \times 10^{17} \sim 1.6 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 이었고 X-Ray Rocking Curve 측정으로부터 (0002) 특성과 7 arcmin. 이하의 FWHM 특성을 얻을 수 있었으며, P형 GaN 결정에서 Hole Mobility는 대략 2.5~8cm²/Vs를 얻을 수 있었다. 한편 성장된 N형 GaN 결정에서 전자의 Mobility는 180~410cm²/Vs로 측정되었으며, 전자의 농도는 $1.4 \times 10^{17} \sim 4.7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 의 값을 얻을 수 있었다. 따라서, 좀 더 Process 조건의 최적화를 이룬다면 Blue Laser Diode와 Power Transistor 등에 활용할 수 있는 결정 성장을 성공적으로 이룩할 수 있다고 판단된다.

본 연구는 정보통신부 주관 대학기초연구지원사업 연구과제로 수행되었음

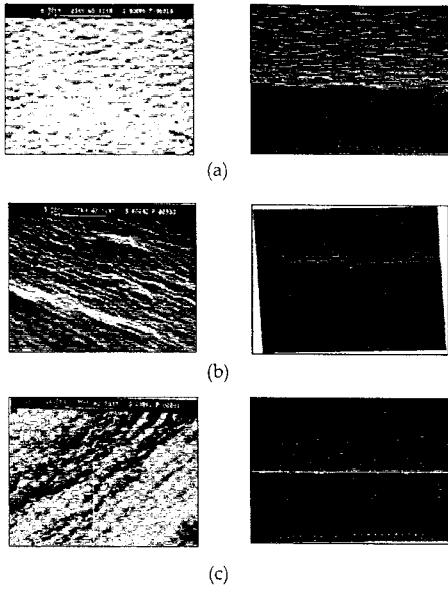


그림 5. SEM pictures of GaN films (Acceleration voltage 1.5kV, Plasma RF power 350W)
 (a) Ionizer current 1A
 (b) Ionizer current 1.4A
 (c) Ionizer current 1.8A

[참 고 문 헌]

- [1] M. Asif Khan, J.N. Kuznia, J.M. Van Hove and D.T. Olson, "Growth of high optical and electrical quality GaN layers using low pressure metalorganic chemical vapor deposition", Appl. Phys. Lett., Vol. 58, No. 5, pp. 526~527, 1991.
- [2] M. Asif Khan, J.W. Burm, M.S. Shur and T. George, "Electronic and Optoelectronic devices Based on GaN-AlGaIn Heterostructures", Proc. Mat. Res. Soc. Symp., Vol. 339, pp. 163~171, 1994.
- [3] S. Nakamura and M. Senoh, "In Situ monitoring and Hall Measurements of GaN grown with GaN buffer Layer", J. Appl. Phys. Vol. 71, pp5543, 1992
- [4] R. J. Molnar, T. Lei and T. D. Moustakas, "Electron transport mechanism in gallium nitride", Appl. Phys. Lett., Vol. 62, pp72, 1993
- [5] D. B. Eason, Z. Yu, and W. C. Hughes, "High brightness blue and green light emitting diodes", Appl. Phys. Lett., Vol 66, pp115, 1995

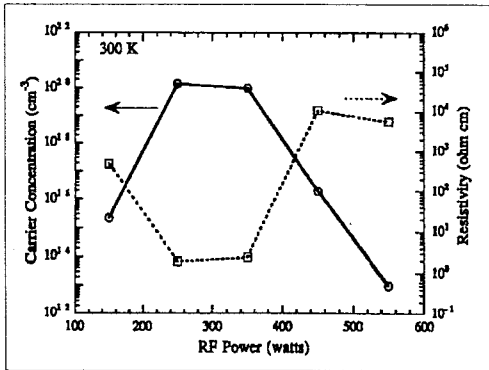


그림 6. Carrier concentrations and electrical resistivity with plasma RF power

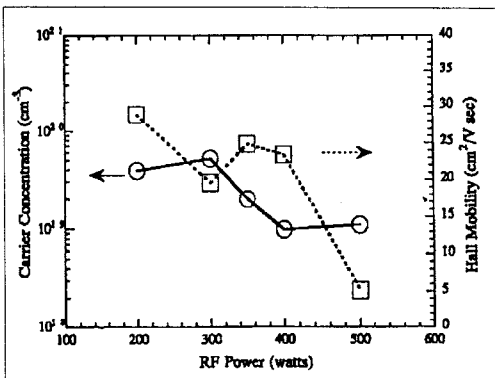


그림 7. Carrier concentration and Hall mobility with plasma RF power