

(0001), (10 $\bar{1}2$)와 (11 $\bar{2}0$) Sapphire 기판에서 Gallium Nitride 단결정 박막의 성장

황진수, 알렉산더 쿠즈네조브, 이선숙, 김향숙, 최종길*, 정필조

한국화학연구소, *소련과학원, **연세대학교

Single Crystal Growing of Gallium Nitride Films on (0001), (10 $\bar{1}2$) and(11 $\bar{2}0$) Sapphire

Jin Soo Hwang, Alexander V. Kuznetsov* Sun Sook Lee, Hyang Sook Kim,
Joong Gill Choi** and Paul Joe Chong

KRICT

*Institute of Crystallography, Russian Academy of Sciences

**Department of Chemistry, Yonsei University

요 약

(0001), ($\bar{1}012$) 및 (11 $\bar{2}0$)면 sapphire 기판위에서 성장되는 (0001), (11 $\bar{2}0$) 및 (10 $\bar{1}1$)면 GaN epitaxy 박막을 Ga/HCl/NH₃/He 계를 사용한 HVPE(halide vapor phase epitaxy)방법에 의하여 성장시키는 연구를 수행하였다. 박막의 표면조직과 결정구조는 XRD, RHEED와 SEM으로 분석하였으며, 성장된 막의 화학적 조성은 XPS로 관찰하였다. (11 $\bar{2}0$) sapphire 위에서는 (0001)과 (10 $\bar{1}1$) GaN 박막의 두가지 배향관계가 존재하였으며, (0001)과 ($\bar{1}012$)면 sapphire위에서는 각각 (0001)과 (11 $\bar{2}0$) GaN epitaxy 박막이 성장되는 배향관계가 관찰되었다. (0001)면 GaN epitaxy 박막은 (0001)과 (11 $\bar{2}0$)면 sapphire 기판위에서 1050°C이상의 고온으로 성장시킬때 이차원적인 성장구조를 보여주었으며, (11 $\bar{2}0$) sapphire 기판위에 성장된 (10 $\bar{1}1$) GaN 박막이 주사전자현미경과 RHEED 분석결과가 가장 좋은 표면조직과 결정구조를 보여주었다.

Abstract

The study of (0001), (11 $\bar{2}0$) and (10 $\bar{1}1$) GaN epitaxy films grown on the (0001), ($\bar{1}012$) and (11 $\bar{2}0$) α -Al₂O₃ substrates have been investigated using the halide vapor phase epitaxy(HVPE) method in Ga/HCl/NH₃/He system. XRD, RHEED and SEM are used for the study of the films structure and surface morphology. Chemical composition of the film surface is estimated by XPS. The following orientation

relationships are observed; (0001) GaN/ (0001) Al_2O_3 , ($11\bar{2}0$) GaN/ ($\bar{1}012$) Al_2O_3 , and (0001) and ($10\bar{1}1$) GaN/ ($11\bar{2}0$) Al_2O_3 in accordance with growth conditions. The (0001) GaN films grown on (0001) and ($11\bar{2}0$) α - Al_2O_3 substrates at higher temperature(1050°C) have shown two dimensional growth mechanism. From SEM and RHEED, the smoother surface morphology and better structure are observed for the ($10\bar{1}1$) GaN films grown on ($11\bar{2}0$) sapphire at higher temperature.

1. 서론

Gallium Nitride(GaN)는 상온에서 3.4 eV의 wide band gap energy를 가지는 직접천이형 화합물 반도체로서 청색영역에서 발광하는 새로운 광전 재료로 주목되고 있다.¹⁾

GaN 결정은 2개 이상의 서로 다른 결정구조로 존재한다.²⁾ 일반적으로 wurtzite type 구조와 zinc-blende type 구조를 갖고 있으며 둘 다 4:4 배위화합물로서 결정성장시 두 가지 결정이 함께 형성되어 공존하는 것으로 알려져 있다. Wurtzite type (α) GaN 은 AB-type 층상 결합으로 hexagonal close packing(hcp) 결정구조를 이루고 있으며 그 공간군은 $P6_3mc$ 에 속한다.³⁾ 이러한 GaN 결정은 III-V족 화합물의 결합형태인 공유결합성을 주로 갖고 있으며 약간의 이온결합성도 갖고 있다. α -GaN 결정의 단위세포(unit cell)에는 Ga 원자와 N 원자가 각각 2개씩 공간에 위치하고 있으며 격자상수는 $a_0=3.186\text{\AA}$, $c_0=5.178\text{\AA}$ 이다. 각 원자간의 결합은 Ga 원자와 N 원자가 교대로 결합되어 있으며 그 결합길이는 c축 방향으로 결합된 것은 1.942 \AA , 층상에 결합된 것은 1.949 \AA 이다. 한편 zinc-blende type (β) GaN는 diamond와 그 구조가 같은 ABC-type 층인 face centered cubic(fcc) 결정구조를 이루고 있다. 이 두 구조의 근본적인 차이는 표면에 노출된 사각뿔의 꼭지점에 위치한 원자들이 결합을 이루기 위하여 또 다른 원자들이 배열할때 그 방향이 서로 달라지는 것이다.

GaN epitaxy는 기판용으로 사용 가능한 GaN 단결정을 boule형태로 크게 성장시키는 것이 불가능하여, 항상heteroepitaxy 방법에 의해 소재화되고 있다. 따라서 GaN epitaxy 성장에는 Si, spinel, GaAs, MgO, SiC

와 sapphire 등이 기판으로 사용되고 있다.^{4,5)} 이 중에서도 불활성이고 높은 온도에서 안정한 sapphire가 가장 많이 사용되고 있으며, 성장면으로는 sapphire의 c면 (0001), a면 ($11\bar{2}0$), R면 ($\bar{1}012$)이 주로 사용되고 있다.

Sapphire는 α - Al_2O_3 로써 사방정계의 $R\bar{3}c$ 공간군을 갖고 있으며 격자상수는 $a_0=5.128\text{\AA}$, $\alpha=55^\circ 20'$ 이고, 육방정계로 관찰하면 $a_0=4.763\text{\AA}$, $c_0=13.00\text{\AA}$ 이다.⁶⁾ Sapphire는 면의 배향(orientation)에 의해 그 위에 성장하는 GaN epitaxy 박막의 배향과 성장습관(growth habit)을 결정하는데 이에 따라 sapphire와 GaN 사이에는 결정학적인 대응성을 수반하는 배열관계(orientation relationship)인 heteroepitaxy system이 성립되게 된다.

GaN/ α - Al_2O_3 heteroepitaxy system에 대한 배열관계는 Ga/HCl/ NH_3/N_2 계의 일정한 반응조건하에서 sapphire hemisphere 위에 GaN epitaxy 박막을 성장시킨 결과 잘 알려지게 되었다.⁷⁾ 그 결과 GaN epitaxy 박막의 배향과 성장속도는 기판의 배향에 의존하며 가장 좋은 결정질은 (0001) GaN/(0001) Al_2O_3 epitaxy 관계에서 관찰되었다.

최근에는 Ga/HCl/ NH_3/He 계에서 (0001), ($\bar{1}012$), ($11\bar{2}0$), ($10\bar{1}0$)와 ($11\bar{2}3$)면으로 배향된 sapphire 기판위에 GaN epitaxy 박막을 성장시켰는데 그 결과로 sapphire 기판과 GaN 사이의 여러가지의 배열관계가 존재하는 것을 발견하였다.⁸⁾

본 연구에서는 Ga/HCl/ NH_3/He 계를 사용하여 ($11\bar{2}0$)면으로 배향된 sapphire 기판위에 성장된 박막이 성장온도와 성장속도에 따라 (0001)과 ($10\bar{1}1$)면 GaN epitaxy 박막으로 성장되며, (0001)과 ($\bar{1}012$)면

sapphire 기판위에는 (0001)과 (11 $\bar{2}$ 0)면 GaN epitaxy 박막이 각각 성장되는 것을 관찰하여 GaN/ α -Al₂O₃ heteroepitaxy system에 대한 결정학적인 배열관계를 얻고자 하였다. 또한 GaN/ α -Al₂O₃ heteroepitaxy system은 청색영역 발광소재 연구의 중요한 기초로서 이에 관한 정확한 이해는 금후 반도체소자개발에 큰 도움이 될 것으로 기대되고 있다.

2. 실험

2.1. 결정성장

GaN epitaxy 박막을 성장시키기 위한 HVPE(halide vapor phase epitaxy) system은 다른 곳에서 이미 사용되어졌던 방법으로써 그 실험장치는 약간의 수정, 보완을 거친후 사용하였다.⁹⁾ 실험장치는 크게 나누어 quartz 반응기, 반응기체 공급계와 three-zone resistive-type furnace로 구성하였다.

GaN epitaxy 박막을 성장시키기 위한 기판은 (0001), ($\bar{1}$ 012)와 (11 $\bar{2}$ 0)면 sapphire를 사용하였는데 그 기판의 결정면은 정확한 면으로부터 1° 미만의 편차를 갖는 것을 확인한 후 실험을 수행하였다. 기판은 horizontal directional crystallization에 의해 성장된 sapphire 단결정을 10x15x1 mm 크기로 자르고 연마하여 사용하였다.¹⁰⁾ 기판은 왕수로 세척한후 끓는 증류수로 여러번 행굼을 하였다. 그후 기판은 1850°C에서 고진공으로 처리를 하였으며 마지막으로 기판표면은 전자회절(RHEED)에 의해 예리한 Kikuchi line들의 존재로부터 확인하였다.

GaN epitaxy 박막은 sapphire 기판위에 900-1100°C의 온도에서 성장시켰다. 박막이 성장하는 동안 Ga원 영역의 온도는 900°C를 유지하였다. 박막의 성장속도는 최저 0.1 μ m/min이었으며 최고성장속도가 (0001)와 ($\bar{1}$ 012)면으로 배향된 sapphire 위에서는 2 μ m/min이었고 (11 $\bar{2}$ 0)면 위에서는 8 μ m/min이었다.

GaN 박막의 성장속도는 일정시간동안 증착반응을 수행할때 증착전후의 기판무게의 차이를 기판의 표면적과 밀도와의 관계로부터 구하였다. 성장속도는 주로 HCl 기체의 유량과 암모니아 기체 출구부터 기판까지

의 거리에 의해 결정되었다. 기판의 최적위치는 암모니아 기체와 GaCl가 혼합되는 출구부터 4-5 cm 거리를 띄우는 것이었다. 반응 기체들의 전형적인 유량은 HCl 기체: 3-15 ml/min, 암모니아 기체: 1 l/min, He 기체: 2 l/min 그리고 HCl과 암모니아의 희석제로써 He 기체를 각각 0.1 l/min과 0.5 l/min이었다.

2.2. 결정분석

결정학적인 연구는 결정구조, 반사전자회절(reflection electron diffraction), 표면조직과 표면의 화학조성에 의해 수행되었다.

GaN epitaxy 박막은 X-ray diffractometer(XRD, Rigaku D/MAX III-B)와 RHEED(Sumeu EMR-102M)로 결정구조를 확인하였으며, 주사전자현미경(SEM, JEOL JSM 840A)으로 표면 조직 및 형태를 관찰하였다. XRD 측정은 Cu Target을 X-ray 광원으로하고 35KV, 15mA 의 가속전압하에서 수행하였다. 성장된 막의 화학 조성은 X-ray Photoelectron Spectroscopy(XPS) 분석을 수행함으로써 화학량론적 조성을 확인하였으며, 이 때 사용한 X-ray 광원은 Al과 Mg Target을 번갈아 가면서 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

선택된 결정성장조건에서 GaN/ α -Al₂O₃ heteroepitaxy system에 대하여 RHEED와 XRD에 의하여 결정된 배열관계는 Table 1과 같다.

Table 1 Orientation Relationships for GaN/ α -Al₂O₃ system

| Parallel plane | | Mutually parallel directions | |
|--|------------------|--|------------------|
| α -Al ₂ O ₃ | GaN | α -Al ₂ O ₃ | GaN |
| (0001) | (0001) | [1 $\bar{2}$ 10] | [10 $\bar{1}$ 0] |
| ($\bar{1}$ 012) | (11 $\bar{2}$ 0) | [10 $\bar{1}$ 1] | [0001] |
| (11 $\bar{2}$ 0) | (0001) | [0001] | [1 $\bar{2}$ 10] |
| (11 $\bar{2}$ 0) | (10 $\bar{1}$ 1) | [0001] | [1 $\bar{2}$ 10] |

이러한 조건에서 성장된 GaN 박막은 XPS 분석결과

모두 화학량론적 조성을 갖는 것을 확인하였으며, XRD, RHEED와 SEM은 모든 배향의 GaN 박막이 선택된 배향의 기판위에서 wurtzite type 구조의 단결정이 모자이크 되어있고 전형적인 미세양각구조 (micro-relief structure)를 이루고 있는 것을 보여 주었다.

3.1. 화학량론적 조성(stoichiometric deposition)

GaN 박막의 표면조성분석에는 soft X-ray source로서 Al-K α line($h\nu=1486.6$ eV)과 Mg-K α line($h\nu=1253.6$ eV)을 교대로 사용하였다. 그 이유는 Al-K α line을 사용하는 경우 gallium 피크가 nitrogen 피크와 중첩되며, Mg-K α line을 사용하는 경우에는 gallium 피크가 carbon 피크와 중첩되기 때문이다. 또한 GaN에 대한 결과는 depth-profile과 이차원 표면의 주사를 반영하였다. XPS 정량 분석결과는 항상 10-20%의 오차를 감안하였다. Fig.1의 XPS spectrum에서 170-390eV까지의 커다란 피크들은 Ga LMM line의 X-ray fluorescence에 해당하는 것으로서 몇 개의 energy 준위로 분리되어 있었다. 또한 285 eV 부근에서는 carbonaceous 오염에 기인된 C_{1s} 피크를 관찰할 수 있

었으며, 540 eV 부근에서는 surface oxide에 기인된 것으로 추정되는 O_{1s} 피크를 관찰하였다. 이는 대기중의 노출에 의해 수반되는 O₂, CO₂와 H₂O의 오염에 기인한 것으로 몇 분 동안의 Ar ion bombardment에 의해 에칭을 실시함으로써 소량의 표면 오염물을 제거할 수 있었다. 그러나 carbon 피크를 완전히 제거할 수는 없었는데, 이는 XPS system 자체내에서 유입되는 소량의 hydrocarbon들이 존재하기 때문이다.

이상의 XPS 분석으로부터 주어진 결정성장조건하에서 성장된 GaN 박막은 원하는 화학양론에 근접한 원소 조성 비율을 갖는 것으로 밝혀졌다.

3.2. 결정구조

Sapphire 기판의 XRD 피크는 (0001)면의 경우 $2\theta = 41.7^\circ$ 와 90.6° 에서 각각 (0006)와 (00012)면 회절에 기인된 대표적인 2개의 피크를 확인하였다. (1012)면의 경우에는 $2\theta = 25.6^\circ, 52.6^\circ, 83.2^\circ$ 와 125.2° 에서 4개의 피크를 보여주었고, (1120)면의 경우에는 $2\theta = 37.8^\circ$ 와 80.7° 에서 2개의 피크를 보여주었다.

Fig.2에는 여러가지 면의 sapphire 기판위에 증착된 GaN 박막의 대표적인 X-ray diffraction 패턴을 나타

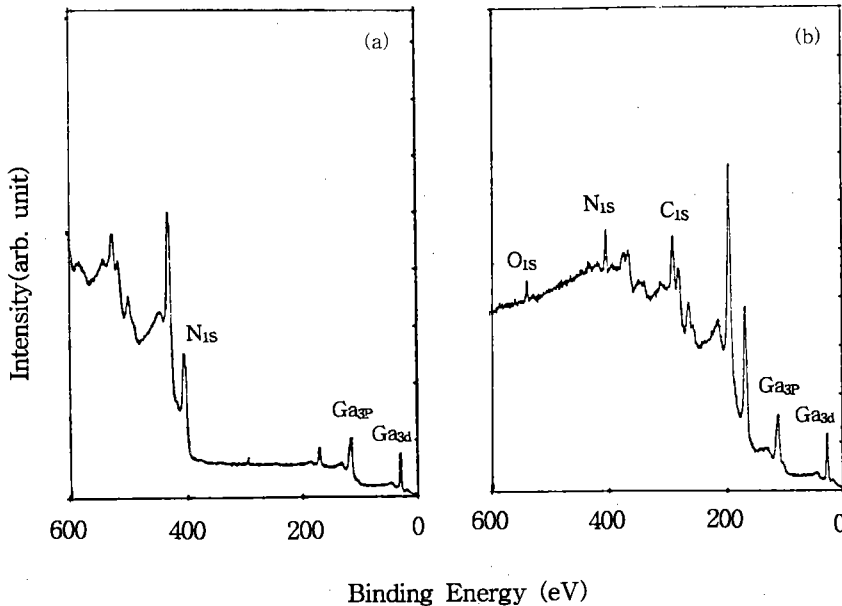


Fig.1. XPS spectrum of GaN epitaxy film by use of (a) Al source and (b) Mg source.

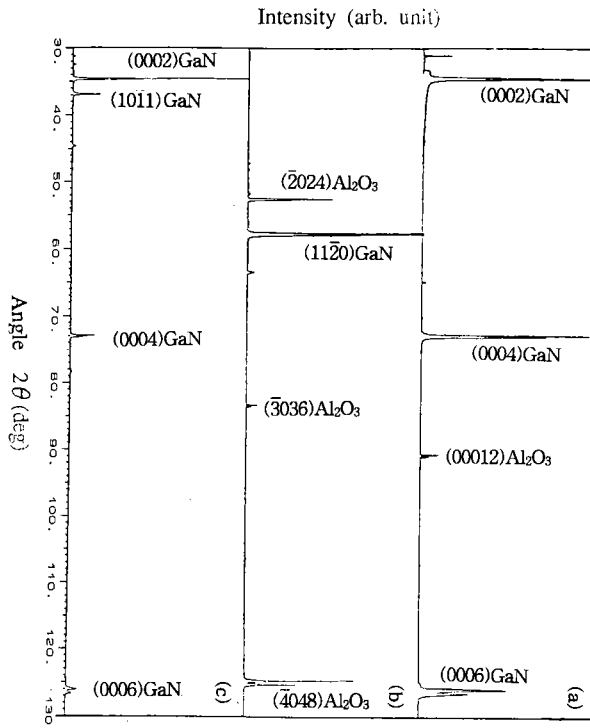


Fig.2. XRD patterns for (a) (0001) GaN layers on (0001) sapphire, (b) (11 $\bar{2}$ 0) GaN layers on ($\bar{1}$ 10) sapphire, (c) (0001) and (10 $\bar{1}$ 1) layers on (11 $\bar{2}$ 0) sapphire substrate.

났다. (0001)과 ($\bar{1}$ 10)면으로 배향된 sapphire 기판 위에는 GaN epitaxy 박막이 각각 (0001)과 (11 $\bar{2}$ 0)면으로 배향된다. 이러한 배향관계는 둘 다 일정하게 주어진 성장조건에서 재현성있게 단결정면을 제공한다.

(0001) GaN의 XRD 피크는 Fig.2a에서 보는 바와 같이 $2\theta = 34.3^\circ$ ($d=2.59 \text{ \AA}$), 72.8° ($d=1.295 \text{ \AA}$)와 125.3° ($d=0.863 \text{ \AA}$)에서 3개의 주요한 X선 피크가 관찰되는데, 이는 GaN 결정의 (0002), (0004)와 (0006)면에 각각 해당한다. (11 $\bar{2}$ 0) GaN의 XRD 피크는 Fig.2b에서 보는 바와 같이 $2\theta = 57.4^\circ$ ($d=1.591 \text{ \AA}$)에 1개의 피크만이 위치한다.

(11 $\bar{2}$ 0)면으로 배향된 sapphire 기판 위에는 GaN epitaxy 박막이 성장조건에 따라 (0001)과 (10 $\bar{1}$ 1)면으로 배향된다. Fig.2c에서는 한개의 (11 $\bar{2}$ 0) sapphire 기판 위에 (0001)과 (10 $\bar{1}$ 1) GaN이 함께 성장하여 두 가지의 배향관계가 공존하는 것을 보여준다. (10 $\bar{1}$ 1)

GaN의 XRD 피크는 Fig.2c에서 보는 바와 같이 $2\theta = 37.0^\circ$ ($d=2.43 \text{ \AA}$)에 1개의 피크를 나타낸다.

본 연구에서 성장시킨 GaN epitaxy 박막에 대한 모든 XRD 결과는 박막 표면의 결정면이 모두 전형적으로 hexagonal close packing(hcp) 결정구조인 wurtzite형 구조를 이루고 있는 것을 지적하고 있으며, 다르게 배향된 결정면에 기인된 XRD 피크는 거의 관찰되지 않았다. 이러한 결과들로부터 주어진 일정한 배향의 sapphire 기판 위에 성장되는 GaN 박막은 특정한 단결정면으로 배향된 wurtzite형 결정을 형성하는 것을 알 수 있었다.

3.3. (0001)과 (11 $\bar{2}$ 0) GaN 표면조직(Morphology)

(0001)과 (11 $\bar{2}$ 0) GaN 박막의 표면조직과 구조는 기존에 보고된 문헌과 잘 일치하고 있다.^{7,8,9,11,12)}

3.3.1. (0001) sapphire 기판 위에 성장된 (0001) GaN 박막

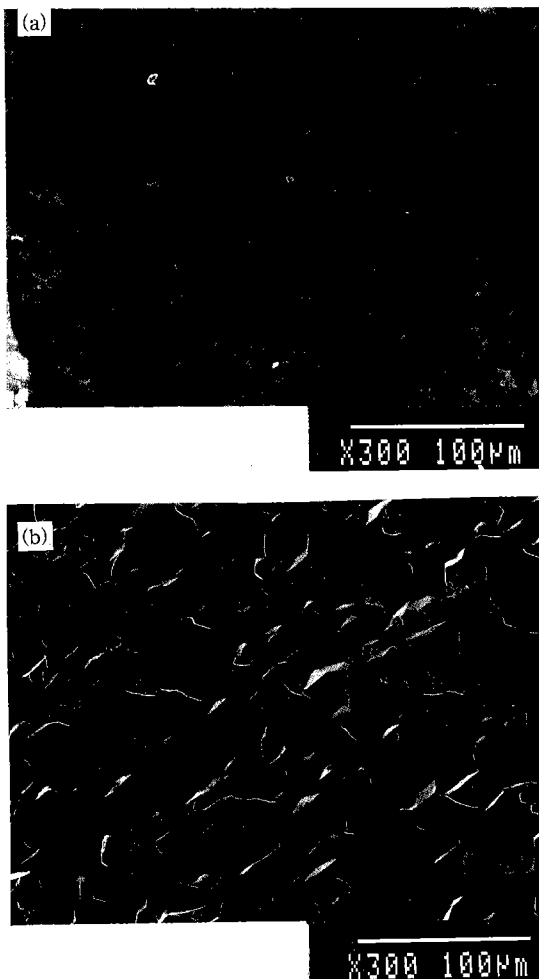


Fig.3. Surface morphology of GaN films: (a) (0001) GaN layers on (0001) sapphire($T=1030^{\circ}\text{C}$, growth rate= $0.2 \mu\text{m}/\text{min}$), (b) ($11\bar{2}0$) GaN layers on ($\bar{1}012$) sapphire($T=975^{\circ}\text{C}$, growth rate= $0.6 \mu\text{m}/\text{min}$).

(0001) sapphire 위에서 GaN 박막의 가장 좋은 성장 조건은 $990\text{--}1010^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위와 $0.4\text{--}0.5 \mu\text{m}/\text{min}$ 의 성장속도였다. 증착막의 전형적인 표면조직은 주사전자현미경으로 관찰한 결과 Fig.3a에서와 같이 육각의 피라미드 형태로 기판 전면에 도포되어 있는 것을 알 수 있었다. 이와 같이 성장된 피라미드는 높이가 있고 밑면이 윗면보다 큰 규모를 이루는데 이는 GaN 박막이 삼차원적인 성장구조로 형성되는 것을 보여준다. 같은 온도범위에서 성장속도를 $0.2\text{--}0.3 \mu\text{m}/\text{min}$ 로 낮추면 육각형의 성장하는 모양이 끝이 잘린 피라미드형태를 얻

을 수 있었는데 이와같은 조건에서 성장시킨 박막은 무색의 투명한 결정이었다. 점차적으로 성장속도를 $2 \mu\text{m}/\text{min}$ 이상으로 증가시키면 불투명한막이 형성되는데 그 표면은 관찰결과 $3\text{--}5 \mu\text{m}$ 의 반경을 갖는 원형의 힐록(hillock)들을 형성하고 있었다.

성장조건을 $0.3 \mu\text{m}/\text{min}$ 이하의 성장속도와 1020°C 이상의 높은 온도로 바꾸면 육각형의 피라미드는 그 높이가 낮아지면서 상대적으로 육각형 밑면의 반경이 넓어졌다. 1050°C 이상의 보다 높은 온도에서는 삼차원적인 성장구조가 이차원적인 성장구조로 완전히 변화되었다. 이 때의 증착막은 투명하였으나 옅은 갈색을 띠었는데, 이는 GaN 결합의 분해에 기인된 것으로 사려된다.

본 연구에서는 GaN 박막의 성장에 관하여 반응속도론적 연구는 비록 수행하지 않았을지라도 삼차원적인 성장구조가 이차원적인 성장구조로 변화하는 현상은 다른 성장조건인 반응속도론적 영역과 확산 영역에서 둘 다 어떠한 일정한 성장과정의 진행이 이루어지는 것을 지적하고 있었다.¹³⁾

RHEED 분석결과로부터 $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 방위각에서 (0001) 면의 GaN 박막이 성장된 것을 알 수 있었다.

3.3.2. ($\bar{1}012$), (1012) sapphire 기판위에 성장된 ($11\bar{2}0$) GaN 박막

($\bar{1}012$) sapphire 위에서 GaN 박막의 가장 좋은 성장조건은 $960\text{--}980^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위와 $0.8 \mu\text{m}/\text{min}$ 이하의 성장속도였다. 증착막의 전형적인 표면조직은 Fig.3b에서 보는 바와 같이 삼각의 프리즘 형태를 보여주고 있다. (1120) GaN 박막의 경우 성장온도와 성장속도의 변화가 표면조직 및 구조에 미치는 영향은 (0001) GaN 박막의 경우와 대체로 비슷하였다. 1030°C 이상의 높은 온도에서 성장시키면 그 증착막은 GaN 분해에 기인된 갈색을 띠었다.

RHEED 분석결과로는 $\langle 0001 \rangle$ 방위각에서 ($11\bar{2}0$) 면의 GaN 박막이 성장된 것을 알 수 있었으며 회절된 밝은 점의 형태로 삼각프리즘의 옆면이 ($10\bar{1}0$) 면으로 이루어진 것을 관찰하였다.

기판의 표면을 정확한 면으로부터 약간의 편차를 주면 표면조직에 뚜렷한 변화를 관찰할 수 있었다. $(\bar{1}012)$ sapphire 면을 $(1\bar{2}10)$ 면 방향으로 약 2° 정도의 작은 편차를 주면 GaN epitaxy 박막이 $(\bar{1}012)$ sapphire면에서 $(10\bar{1}1)$ 방향으로 평행한 GaN의 $\langle 0001 \rangle$ 축을 중심으로 하여 방위각 회전을 하는 것을 발견하였다. 이러한 결과로 얻어진 증착막의 표면조직은 변의 길이가 다른 프리즘의 모양을 보여준다.

3.4. $(11\bar{2}0)$ sapphire 위에서의 (0001) 과 $(10\bar{1}1)$ GaN 박막의 표면조직

$(11\bar{2}0)$ sapphire 위에서의 (0001) 과 $(10\bar{1}1)$ GaN 박막의 배향관계는 Fig.4에서 보는 바와 같이 주로 성장속도에 의존하며 성장온도에 의해서도 약간의 영향을 받았다. 두개의 배향으로 성장하는 영역의 경계는 $\pm 1\%$ 의 온도 범위와 $\pm 10\%$ 의 성장속도에서 재현성을 보였다. 경계영역에 대응하는 성장조건에서는 두 가지의 배향 이외의 다른 배향관계로 GaN 박막이 성장하는 경우는 존재하지 않았으며, 한개의 $(11\bar{2}0)$ sapphire 위에 두 가지의 배향이 공존하는 현상을 보였다.

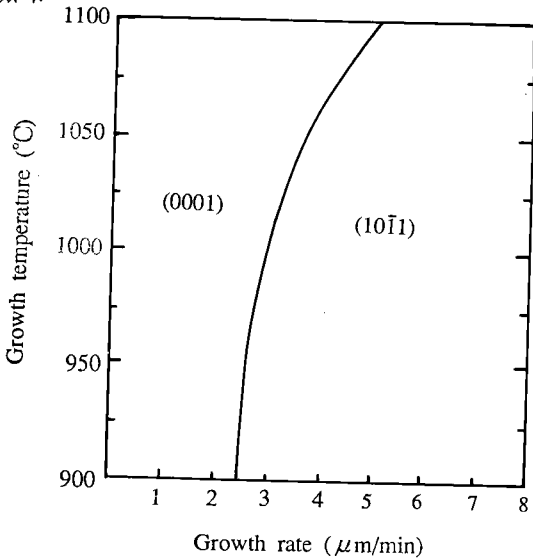


Fig.4. Orientation diagram for GaN epitaxial films grown on $(11\bar{2}0)$ sapphire substrate.

3.4.1. $(11\bar{2}0)$ sapphire 기판위에 성장된 (0001) GaN 박막

$(11\bar{2}0)$ sapphire 위에서 GaN 박막의 가장 좋은 성장조건은 $1030-1050^\circ\text{C}$ 의 온도범위와 $0.4-0.5 \mu\text{m}/\text{min}$ 의 성장속도였다. 증착막의 전형적인 표면조직은 주사전자현미경으로 관찰한 결과 Fig.5a에서와 같이 육각의 판상형태가 계속적으로 연결되면서 기판 전면에 도포되는 것으로 관찰되었다. 육각의 판상은 (0001) sapphire 기판위에 성장된 육각형 피라미드의 (0001) GaN 박막보다 상대적으로 높이는 낮고 윗면과 아랫면의 넓이는 거의 똑같은 형태가 이차원적인 성장구조로 성장하는 모양을 보여준다.

같은 온도범위에서 성장속도를 $0.2 \mu\text{m}/\text{min}$ 이하로 낮추면 표면조직은 더욱 평평하게 되며 그 박막은 GaN 분해에 기인된 갈색의 투명한 결정을 형성하였다. 점차적으로 성장속도를 $1 \mu\text{m}/\text{min}$ 이상으로 증가시키면 불투명한 막이 형성되는데 그 표면에는 작은것은 $1-2 \mu\text{m}$ 에서 크기는 $20 \mu\text{m}$ 까지의 반경을 갖는 원형의 결함(hole)들을 형성하고 있었다. 성장조건을 $1 \mu\text{m}/\text{min}$ 이상의 성장속도와 1020°C 이하로 온도를 낮추면 표면의 결함은 육각형을 형성하였다.

RHEED 분석결과는 (0001) sapphire 기판을 사용한 경우와 같이 $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ 방위각에서 (0001) 면의 GaN 박막이 성장된 것을 알 수 있었으며 회절된 밝은 점의 형태가 (0001) sapphire 기판위에 성장시킨 GaN 박막과는 달리 밝은 점이 약간 퍼지는 현상을 관찰할 수 있었다. 이로부터 결정의 표면이 하나의 결정구조로 완전하게 배향되지 않은 것을 알 수 있었다.

3.4.2. $(11\bar{2}0)$ sapphire 기판위에 성장된 $(10\bar{1}1)$ GaN 박막

$(11\bar{2}0)$ sapphire 기판위에 성장된 $(10\bar{1}1)$ GaN 박막의 가장 좋은 성장조건은 $1050-1070^\circ\text{C}$ 의 온도범위와 $4.5-6 \mu\text{m}/\text{min}$ 의 성장속도였다. 증착막의 전형적인 표면조직은 Fig.5b에서 보는 바와같이 약간의 결함은 존재하나 어떤 특이한 성장모양이 없는 거의 평평한 평면을 보여주고 있다. 그 증착막은 투명도는 매우 뛰어나

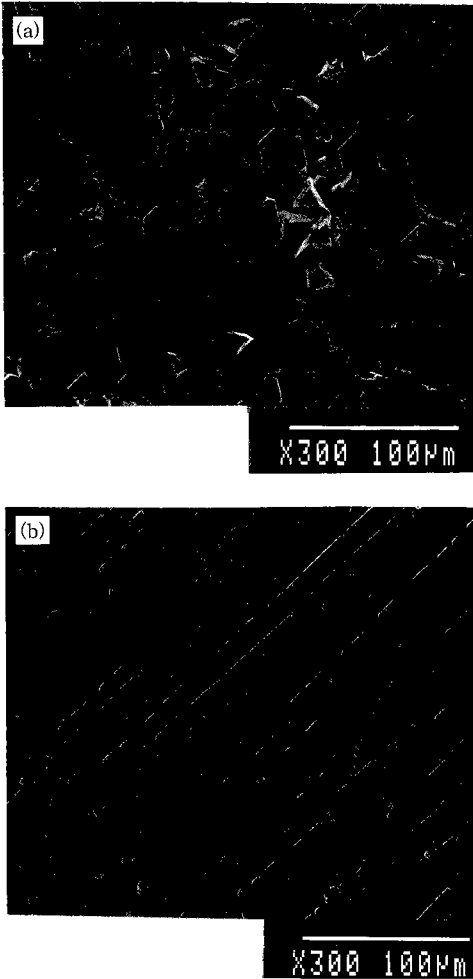


Fig.5. Surface morphology of GaN films: (a) (0001) GaN layers on ($11\bar{2}0$) sapphire($T=1030^{\circ}\text{C}$, growth rate $=0.4 \mu\text{m}/\text{min}$), (b) ($10\bar{1}1$) GaN layers on ($11\bar{2}0$) sapphire($T=1055^{\circ}\text{C}$, growth rate $=4.5 \mu\text{m}/\text{min}$).

나나 GaN 결함의 해리에 기인된 얼은 갈색을 띠고 있었다. 같은 성장속도에서 성장온도를 1020°C 이하로 낮추면 표면조직이 거칠어지면서 방위각이 반대인 두개의 배열이 함께 공존하는 현상을 보이는데 이는 ($10\bar{1}1$) sapphire 위에 성장된 (1013) GaN 박막의 경우와 같은 경향을 보였다.¹⁴⁾

RHEED 분석결과로는 Fig.6에서 보여주는 바와 같이 ($10\bar{1}2$)방위각에서 ($10\bar{1}1$)면의 GaN 박막이 성장된 것을 알 수 있었으며 회절된 밝은 점의 형태가 ($10\bar{1}2$)방위각 방향으로 일정하게 뻗어있는 것으로

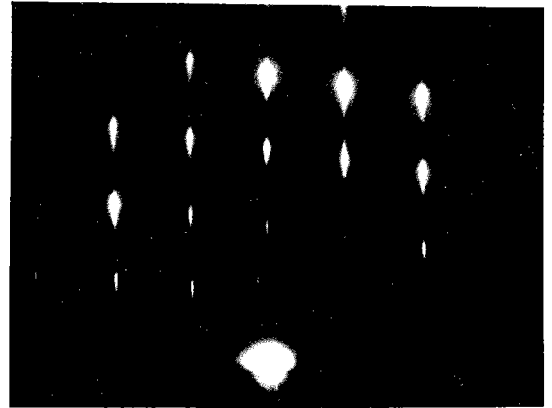


Fig.6. RHEED patterns from surface of ($10\bar{1}1$) GaN films in the azimuth ($10\bar{1}2$) on ($11\bar{2}0$)sapphire ($T=1055^{\circ}\text{C}$, growth rate $=4.5 \mu\text{m}/\text{min}$).

부터 박막의 표면이 평평한 한가지 배향의 결정구조로 이루어진 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 Ga/HCl/NH₃/He 계를 사용하여 (0001), ($\bar{1}012$) 및 ($11\bar{2}0$)면 sapphire 기판위에 성장되는 (0001), ($11\bar{2}0$) 및 ($10\bar{1}1$)면 GaN epitaxy 박막의 최적 성장조건과 결정학적 배열관계를 얻었다.

($11\bar{2}0$) sapphire 위에서는 성장온도와 성장속도에 따라 (0001)과 ($10\bar{1}1$) GaN 박막의 두가지 배향관계가 존재하였다.

(0001)과 ($11\bar{2}0$)면 sapphire 기판위에서 1050°C 이상의 높은 온도에서 성장시킬때 (0001)면 GaN epitaxy 박막은 이차원적인 성장구조를 보여주었다.

($11\bar{2}0$) sapphire 기판위에 성장된 ($10\bar{1}1$) GaN 박막이 주사전자현미경과 RHEED 분석결과, 가장 좋은 표면조직과 결정구조를 보여주었다.

참고 문헌

1. H.P.Maruska and J.J.Tietjen, *Appl. Phys. Lett.* 15 (1969), 327.
2. T. Lei, M. Fanciulli, J.Molnar, T. D. Moustakas,

- R. J. Graham and J. Scanlon, *Appl. Phys. Lett.*, 59 (1991), 994.
3. Joint Committee on Powder Diffraction Standards File 2-1078.
 4. D. Elwell and M. M. Elwell, *Prog. Crystal Growth Characterization* 17 (1988), 53.
 5. J. Karpinski, J. Jun and S. Porowski, *J. Crystal Growth* 66 (1984), 1.
 6. W.G.Wyckoff, *Crystal Structures* (Interscience, New York, 1969) ch. VA, 8.
 7. R.Madar, D.Michel, G.Jacob and M.Boulou, *J. Crystal Growth* 40 (1977), 239.
 8. A. V. Kuznetsov, S. A. Semiletov and G. V. Chaplygin, in : *Growth of Crystals*, Eds. E. I. Givargizov and S. A. Grinberg (Plenum, New York, 1988), 13.
 9. M.Ilegems, *J. Crystal Growth* 13/14 (1972), 360
 10. K. S. Bagdasarov, E. R. Dobrovinskaya, L. A. Litvinov and V. V. Pishchik, *Izv. Akad. Nauk USSR, Ser. Phys.*, 37 (1973), 2362.
 11. T.Sasaki and S.Zembutsu, *J. Appl. Phys.* 61(1987), 2533.
 12. G.Fitzl, A.Tempel, W.Seifert and E.Butter, *Kristall Tech.* 15 (1980), 1143.
 13. V.V.Malinovsky, L.A.Marasina, I.G.Pichugin and M.Tlaczala, *Crystal Res. Technol.* 17 (1982), 835.
 14. A.V.Kuznetsov, B.A.Malyukov, O.S.Sotnikova and G.V.Chaplygin, *Sov. Phys. Cryst.* 34 (1989), 108.