

GaN의 기상성장과 특성

Vapor Phase Epitaxial Growth and Properties of GaN

김선태, 문동찬*

S. T. Kim and D. C. Moon*

대전산업대학교 재료공학과

*광운대학교 전자재료공학과

Dept. of Materials Eng., Taejon National University of Technology
Dept. Electronic Materials Eng., Kwangwoon University

ABSTRACT

A hydride vapor phase epitaxy (HVPE) method is performed to prepare the GaN thin films on c-plane sapphire substrate. The full-width at half maximum of double crystal X-ray rocking curves from 20 μm -thick GaN was 576 arcsecond. The photoluminescence spectrum measured 10 K shows the narrow bound exciton (I_2) line and weak donor-acceptor peak, however, there was not observed deep donor-acceptor pair recombination indicate the GaN crystals prepared in this study are of high purity and high crystalline quality. The GaN layer is n-type conducting with electron mobility of 72 $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ and with carrier concentration of $6 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$.

1. 서 론

III-V족 질화물반도체 GaN는 실온에서의 직접천이형 에너지갭이 3.4 eV로 크고, 높은 열전도도와 큰 전자포화속도를 갖고 있다. 따라서, 최

근 GaN를 중심으로하는 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ 계 질화물반도체를 이용한 청색과 자외과장 영역에서 동작하는 발광·수광소자의 제작과 고온동작소자 및 고출력 microwave소자 등에의 응용이 검토되고 있다.¹⁾

HVPE (hydride vapor phase epitaxy)법은 다른 결정성장법에 비하여 빠른 속도로 양질의 박막결정을 비교적 쉽게 성장할 수 있는 방법이다. 이 방법으로 상대적으로 두꺼운 양질의 GaN 결정을 성장하여 우수한 동작특성을 갖는 전자소자의 제작을 위한 기판재료로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 지금까지 잘 알려지지 않고 있는 GaN의 기본적인 물성을 보다 정확하게 규명하는 것이 가능하다.

따라서 이 연구에서는 HVPE법으로 사파이어 기판위에 양질의 GaN 박막을 성장하여 결정성장 조건에 따른 결정학적, 광학적 및 전기적 특성을 평가하였다.

2. 실험방법

이 실험에 사용된 수평형 대기압 HVPE장치의 개략도와 온도구배를 그림 1에 나타내었다.

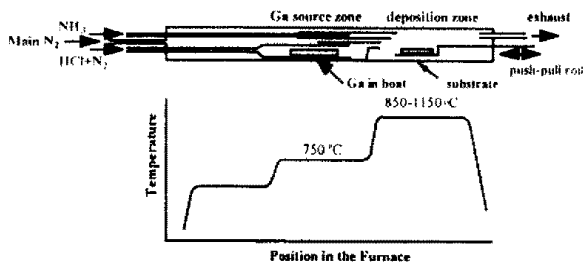


그림 1. HVPE장치의 반응관 구조 및 온도구배.

석영반응관의 내경은 48 mm이었으며, 반응관 내 각 반응가스의 도입은 석영관을 사용하였다. HCl을 캐리어가스 N₂와 함께 금속 Ga 위로 통과시켜 GaCl을 생성하고, C(0001)면의 사파이어 기판이 놓인 결정성장부에서 NH₃와 함께 반응하여 GaN가 합성되도록 하였다. 이 실험에 있어 각 가스의 유량은 표 1과 같다.

Table 1. The gas flow rates for HVPE system.

Flow rate (ml/min.)			
NH ₃	HCl	diluent N ₂	Main N ₂
500	20	500	3,000

금속 Ga를 담은 석영보트부분의 온도를 750 °C로 유지하였고, 사파이어 기판이 놓이는 부분의 온도는 850 ~ 1150 °C를 유지하였다.

성장된 박막의 두께와 표면상태를 금속광학현미경과 전자주사현미경으로 조사하였으며, 이중 결정 X선회절장치를 이용하여 결정의 품질을 평가하였다. 광학적 성질은 He-Cd 레이저를 이용하여 광루미네선스를 측정하여 평가하였으며, 전기적 특성을 평가하기 위하여 van der Pauw법에 의한 Hall효과를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

HVPE법을 이용한 GaN의 결정성장에 있어 결정의 질은 성장온도에 의하여 크게 영향을 받

았다. 900 °C보다 낮은 온도에서는 3차원성장이 지배적으로 나타남으로써 평탄한 표면을 얻을 수 없었으며, 1150 °C 이상의 온도에서는 성장된 GaN 표면에서의 재분해에 의하여 표면의 평활성이 나빠지는 경향을 나타내었다. 또한 낮은 온도에서 성장된 GaN 박막은 암갈색을 띄었으며, 성장온도가 높아짐에 따라 GaN표면의 색상이 점차 투명하게 되었다.

그림 2의 a)와 b)는 각각 1100 °C의 온도에서 10분동안 성장된 GaN 박막의 단면사진과 표면사진을 나타낸 것이다.

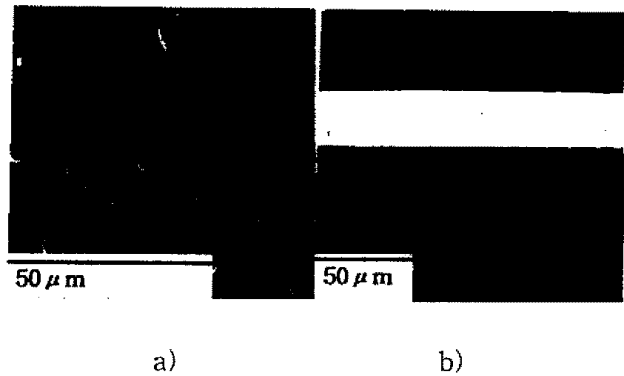


그림 2. 1100 °C에서 10분동안 성장된 GaN의 a) 표면과 b) 단면.

사파이어 기판과 성장된 GaN 박막 사이의 계면은 매우 급준하고 표면의 평활도도 매우 우수함을 알 수 있으며, 성장된 박막의 두께는 20 μm로서 성장율은 120 μm/hr이었다. 그러나 사파이어 기판과 GaN 사이의 커다란 열팽창계수차에 의하여 많은 크랙이 존재하였다.

최적의 조건에서 성장된 GaN 박막의 (0002) 방향에 대하여 측정된 이중결정 X선 회절피크를 그림 3에 나타내었으며, 피크의 반치폭은 576 초이었다. 이와 같은 결과는 Shintani등이³⁾ 보고한 720 초에 비하여 작은 것이다. 그러나 ZnO 완충층을 사용하여 성장한 경우의 반치폭 177 초에 비하여 약 3배 이상 큰 값을 보이고 있다.⁴⁾

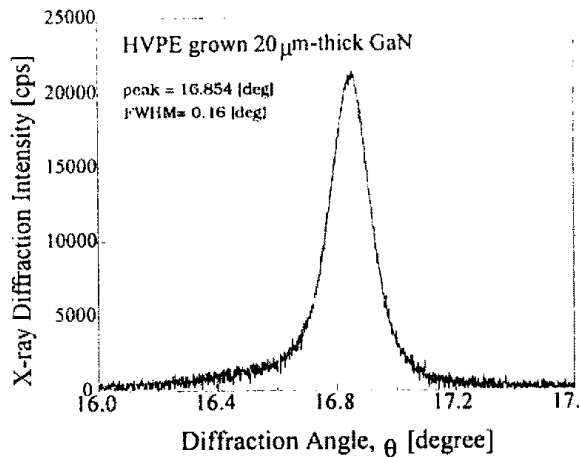


그림 3. HVPE법으로 성장된 GaN의 (0002)면에 대한 이중 X-선 회절패턴

그림 4는 1100°C의 온도에서 10분동안 성장된 GaN에 대하여 10 K의 온도에서 측정된 광루미네선스 스펙트럼이다.

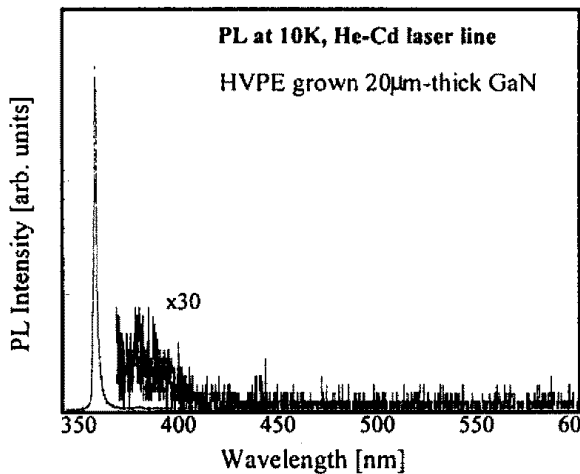


그림 4. HVPE법으로 성장된 GaN에 대하여 10 K 온도에서 측정된 광루미네선스 스펙트럼.

3.4788 eV의 위치에서 반치폭이 15.6 meV인 중성도너에 속박된 엑시톤 소멸에 의한 강한 강도의 발광피크 (I_2 line)가 나타났으며, 약 3.28 eV의 위치에서 도너-억셉터 쌍 재결합에 의한 약한 강도의 피크가 나타났다. 그러나 HVPE법 또는 MOVPE법으로 성장된 GaN에서 관찰되는 550 nm 부근의 깊은준위에 의한 발광은 검출되

지 않았다. 이와 같은 광루미네선스 특성으로부터 HVPE법으로 성장한 GaN의 결정성은 비교적 양호함을 알 수 있으며, 원하지 않는 불순물의 혼입이 거의 없음을 알 수 있다.

한편, 최적의 조건에서 성장한 GaN 박막의 전기전도형은 n형이었고, 실온에서의 전하이동도는 $72 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$, 전자농도는 약 $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 이었다. 이와 같은 결과는 Gillessen등이⁵⁾ HVPE법으로 성장한 GaN에 대하여 얻은 전자농도 ($10^{19} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)에 비하여 다소 작은 값이며, 이동도는 2~3배정도 큰 값이다. 그러나 ZnO 완충층을 이용하여 성장한 GaN에 비하여 전하이동도와 전자농도는 매우 커다란 차이를 보이고 있다.⁴⁾ 이와 같은 사실로부터, 전기적특성을 보다 향상시키기 위해서는 사파이어 기판과 GaN 사이의 커다란 격자부정합 열팽창계수 차를 보완하기 위한 완충층의 역할이 매우 중요함을 알 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 HVPE법을 이용하여 양질의 GaN 박막 결정을 C면의 사파이어 기판위에 성장하였고, 그 결정학적, 광학적 및 전기적 특성을 조사하였다.

HVPE법으로 성장된 GaN 결정은 사파이어 기판과 GaN 사이의 열팽창계수차에 의하여 성장된 박막내에는 많은 크랙이 존재하였고 이로 인하여 X선 회절피크의 반치폭이 완충층을 사용한 경우에 비하여 넓게 나타났다. 그러나, 10 K의 온도에서 측정된 광루미네선스 스펙트럼으로부터 HVPE법으로 성장된 GaN 결정은 불순물의 혼입이 없으며, N 공격자점의 발생도 다른 결정성장 방법에 비하여 상당히 억제되었다. 아울러, 전기적 성질은 초기 연구에 비하여 다소개선되었으나, 완충층을 사용한 경우보다는 현격한 차이가 있었다.

따라서 HVPE법을 이용한 GaN의 결정성장에 있어 완충층의 역할은 매우 중요하며, 또한 GaN와 격자정합을 이루는 새로운 기판재료의 개발도

선행되어야 할 과제이다.

참 고 문 헌

1. H. Morkoc, et al., J. Appl. Phys, 76, 1363 (1994)
2. S. Nakamura, et al., Jpn. J. Appl. Phys, 34, L1332 (1995)
3. A. Shintani, et al., J. Electrochem. Soc, 125, 2076 (1978)
4. T. Detchprohm, et al., Appl. Phys. Lett, 61, 2688 (1992)
5. K. Gillessen, et al., Mat. Res. Bull, 12, 955 (1977)