

HVPE 법으로 사파이어 기판 위에 성장한 후막 GaN 의 특성

Properties of thick-film GaN on sapphire substrates by HVPE method

이영주* 김선태

Y. J. Lee* and S. T. Kim

대전산업대학교 재료공학과

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

ABSTRACT

A hydride vapor phase epitaxy (HVPE) method was performed to prepare the GaN thick-films on c-plane sapphire substrates. The full-width at half maximum of double crystal X-ray rocking curve from 350 μ m thick GaN was 576 arcsecond. The photoluminescence spectrum measured (at room temperature) show the narrow bound exciton(I₂) line and weak donor-acceptor pair recombination 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.

1. 서론

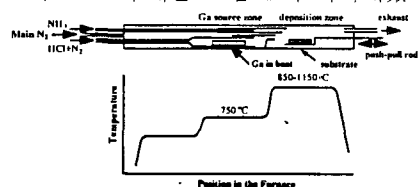
III-V 족 질화물반도체 GaN 는 실온에서의 직접 천이형 에너지갭이 3.4 eV 로 크고, 높은 열전도도와 큰 전자포화속도를 갖고 있다. 따라서, 최근 GaN 를 중심으로 하는 Al_xGa_{1-x-y}In_yN 계 질화물반도체를 이용한 청색과 자외파장 영역에서 동작하는 발광·수광 소자의 제작과 고온동작소자 및 고출력 microwave 소자 등에의 응용이 검토되고 있다.¹⁾

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

따라서 이 연구에서는 HVPE 법으로 사파이어 기판 위에 양질의 후막 GaN 를 성장하여 결정성장 조건에 따른 결정학적, 광학적 특성을 평가하였다.

2. 실험방법

이 실험에 사용된 수평형 대기압 HVPE 장치의 개략도와 온도 구배를 그림 1 에 나타내었다.



37 그림 1. HVPE 장치의 반응관 구조 및 온도 구배

석영 반응관의 내경은 48mm 이었으며, 반응관 내 각 반응가스의 도입은 석영관으로 하였다.

HCl 을 캐리어가스 N₂와 함께 금속 Ga 위로 통과시켜 GaCl 을 생성하고, C(0001)면의 사파이어 기판이 놓인 결정성장부에서 NH₃와 함께 반응하여 GaN 가 합성되도록 하였다. 이 실험에 있어 각 가스의 유량은 표 1 과 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 Ga 을 담은 석영 보트부분의 온도를 850°C 로 유지하였고 사파이어 기판이 놓이는 부분의 온도는 850~1150°C 를 유지하였다. 성장된 GaN 의 두께와 표면 상태를 금속광학현미경으로 조사하였으며, 이중 결정 X 선 회절장치를 이용하여 결정의 품질을 평가하였다. 광학적 성질은 He-Cd 레이저를 이용하여 광루미네선스를 측정하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

HVPE 법을 이용한 GaN 의 결정 성장에 있어 결정의 질은 성장온도에 의하여 크게 영향을 받는다. 950°C 정도의 낮은 온도에서는 3 차원 성장이 지배적으로 나타남으로써 평탄한 표면을 얻을 수 없었으며, 1100°C 이상의 온도에서는 성장된 GaN 표면에서의 재분해에 의하여 표면의 평활성이 나빠지는 경향을 나타내었다.

그림 2 는 각각의 온도에서 10 분 동안 성장된 GaN 의 표면 사진을 나타낸 것이다.

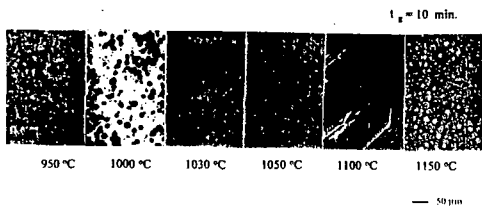


그림 2. 각각의 온도에서 10 분 동안 성장된 GaN 의 표면

1030°C 에서 성장된 GaN 표면의 평활도는 매우 우수하였으며, 성장된 박막의 두께는 10 µm 로써 성장율은 60µm/hr 이었다.

그림 3 은 성장 시간에 따른 GaN 의 표면 사진을 나타낸 것이다. 성장시간이 증가할수록 표면은 테라스 형태의 성장이 지배적으로 나타났으며, 이는 성장 시간이 증가하면서 점점 두꺼워진 기판 위로 가스의 흐름이 변화되었기 때문이라 생각된다.

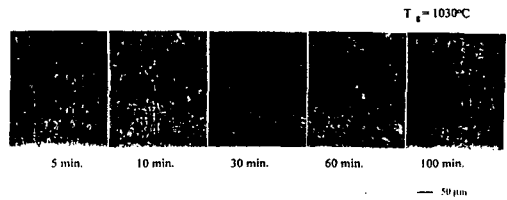


그림 3. 성장시간에 따른 GaN 의 표면 사진

최적의 조건에서 성장된 GaN 박막의 (0002) 방향에 대하여 측정한 이중결정 X 선 회절피크를 그림 4 에 나타내었으며, 피크의 반치폭은 576 초이었다. 이와 같은 결과는 Shintani 등이³⁾ 보고한 720 초에 비하여 작은 것이다.

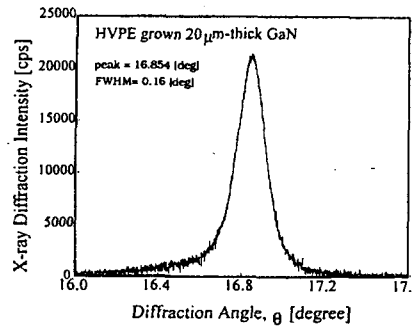


그림 4. HVPE 법으로 성장된 GaN 의 (0002)면에 대한 이중 X-선 회절패턴

그림 5 는 각 온도에서 10 분 동안 성장된 GaN 에 대하여 실온에서 측정한 광루미네선스 스펙트럼이다.

고온에서 성장한 GaN 는 도너-억셉터 쌍 재결합에 의한 피크와 불순물에 기인한 깊은 준위의 피크가 관찰 되었으나 최적 조건인 1030°C 에서 성장한 GaN 에서는 도너-억셉터 쌍 재결합에 의

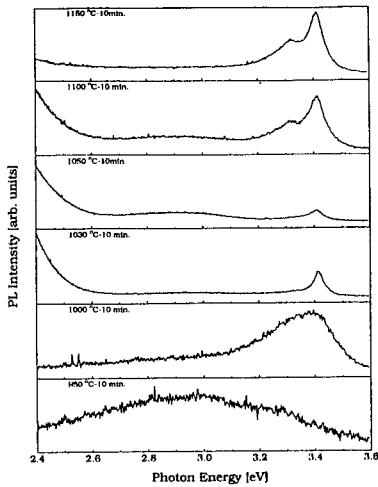


그림 5. HVPE 법으로 성장된 GaN 에 대하여
실온에서 측정된 광루미네선스 스펙트럼

한 피크와 불순물 혼입에 기인한 피크가 매우 약하게 관찰되고 있으며, 그림 6 에서도 NH_3 유량에 따른 광루미네선스 스펙트럼에서도 최적 조건에서는 위와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이와 같은 광루미네선스 특성으로부터 HVPE 법으로 최적 조건에서 성장한 GaN 의 결정성은 비교적 양호함을 알 수 있으며, 원하지 않는 불순물의 혼입이 거의 없음을 알 수 있다.

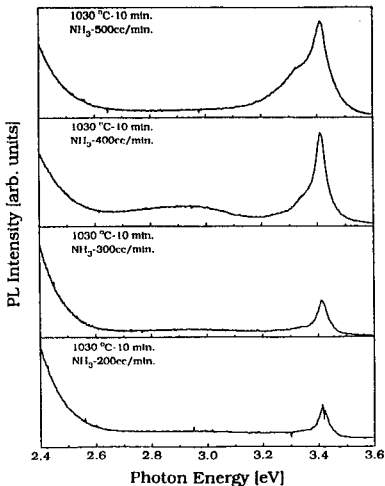


그림 6. NH_3 유량에 따른 광루미네선스 스펙트럼

이와같이 성장된 후막 GaN 는 사파이어 기판과의 격자부정합과 열팽창계수차에 의하여 성장된 GaN 내부에 크랙이 존재하지만 기계적 연마와 경면 가공을 한다면 GaN homoepitaxy 를 위한 기판 재료로서의 활용이 충분히 가능하리라 생각된다.

4. 결론

이 연구에서는 HVPE 법을 이용하여 양질의 후막 GaN 결정을 C 면의 사파이어 기판 위에 성장하고, 결정학적, 광학적 특성을 조사하였다.

HVPE 법으로 성장된 GaN 결정은 사파이어 기판과 GaN 사이의 열팽창계수차에 의하여 성장된 GaN 내에 크랙이 존재하였고 이로 인하여 X 선 회절피크의 반치폭이 완충층을 사용한 경우에 비하여 넓게 나타났다. 그러나, 실온에서 측정된 광루미네선스 스펙트럼으로부터 HVPE 법으로 성장된 GaN 결정은 불순물의 혼입이 없으며, N 공격 자점의 발생도 다른 결정성장방법에 비하여 상당히 억제되었다.

최적 조건에서 두께 $350\mu\text{m}$ 인 GaN 를 성장하였다. 사파이어 기판과의 격자부정합과 열팽창계수차에 의하여 성장된 GaN 내부에 크랙이 존재하였다. 따라서 결정성을 향상 시키기 위하여 완충층을 사용하거나, 성장 직후 열적인 어닐링을 실시한다면 보다 우수한 품질의 후막 GaN 을 얻을 수 있으리라 생각된다.

참고문헌

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)