

## PEMBE로 성장된 GaN 박막의 초기 거동 관찰

이민수, 조태식

국립상주대학교 신소재 공학과

Initial state of GaN grown by plasma enhanced molecular beam epitaxy

Min-Su Yi, Tae Sik Cho

Department of Materials Science and Engineering, Sangju National University

PEMBE(plasma enhanced molecular beam epitaxy)방법으로 성장된 GaN 박막의 초기 거동현상을 실시간 X-선 산란을 이용하여 관찰하였다. 표면이 원자 계단(atomic step)을 이루고 있는 사파이어 기판 위에 성장하는 GaN 박막은 layer-by-layer 모드로 성장 후 3D 모드로 성장을 하였다. 거친 표면을 가진 사파이어 기판 위에 성장하는 GaN 박막은 성장 초기는 표면을 평평하게 만든 후, 3D 모드로 성장하였다. 플라즈마로 생성된 이온화된 질소는 표면의 에너지를 변화시켜 GaN 박막의 증착을 증진시키고, 표면의 coverage를 증가시킨다

**Key Words** : GaN, surface, atomic step, x-ray

### 1. 서론

넓은 직접 band gap, 빠른 전자 이동속도, 고온에서의 안정성 등 여러 가지 우수한 물리적 특성을 가지는 GaN는 발광 다이오드 이외에도 고주파 소자, 고속 전기 소자 등에 이용되고 있다.<sup>1,2,3)</sup> MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)방법을 이용한 성장 방법은 보편적으로 우수한 박막을 성장시키는 방법으로 널리 알려져 있다. 하지만 MBE(Molecular beam epitaxy)방법은 InGaN층이 들어가지 않는 AlGaIn MODFETs, FET등의 소자의 제작에 중요한 성장방법으로 각광을 받고 있다. MBE성장 방법에서 질소를 공급하는 방법으로 R.F(radio frequency)을 이용한 질소 플라즈마 생성방법이 ECR(electron cyclotron resonance)을 이용한 질소 플라즈마 생성 방법에 비하여 이온에 의한 효과가 적기 때문에 많이 쓰이고 있다<sup>4)</sup>.

본 실험에서는 R.F.을 이용한 질소 생성기를 장착한 PEMBE를 이용하여 각기 다른 표면의 형태

를 가지는 사파이어 기판 위에 증착되어지는 초기 GaN의 성장 모드를 관찰하여 기판 표면의 형태가 GaN 박막의 성질에 미치는 영향을 관찰하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 실험장치

실시간으로 GaN 박막의 성장 모드를 관찰하기 위하여 in-situ X-선 산란이 가능한 PEMBE 장치를 방사광 가속기에 설치하여 실험을 수행하였다.

박막 성장을 위한 질소 소스로는 질소가스를 R.F.을 이용하여 플라즈마를 발생시켜서 사용하였다. 갈륨 소스는 Trimethylgallium을 이용하였다. 각각의 유량을 조절하기 위하여 mass flow controller을 이용하였다. 시편을 진공중에서 고온으로 온도를 올리기 위하여 Pyrolytic boron-nitride을 이용하였다. 실시간 관측을 위해서 PEMBE 챔버는 X-선 산란을 측정할 수 있는 Goniometer위에 장착하여 수평, 수직 방향으로 회전을 할 수 있게 하였다

5)

X-선 산란의 양을 측정하기 위하여 일반적으로 사용되는 Sintillation detector를 이용하였으며, 증착 되는 갈륨의 양을 통하여 박막의 두께를 측정하기 위하여 energy resolving SiLi detector를 이용하였다. 실험은 Cornell high energy synchrotron source(CHESS) A2 station에서 시행되었다.

## 2.2 실험방법

사파이어 기판의 miscut 각도를 측정하기 위하여 (0002) 결정면에 수직인 방향과 표면에 수직인 방향의 차이를 측정하였다. (0002) 결정면 방향의 수직 방향을 측정하기 위하여 (0002) Bragg peak에서 시편의 상대적 위치인 theta를 측정하였다. 기판 표면의 수직 방향을 측정하기 위하여 detector을 3°에 고정시킨 후 theta를 측정하였다.

진공 챔버 안에서 1020°C에 1시간 열처리 후에 기판 표면의 상태를 측정하기 위하여 사파이어의 Anti-Bragg peak의 위치에서 Zeta을 rocking하여 X-선 산란의 결과를 측정하였다.

본 실험에서는 표면에 step의 간격이 일정한 기판(AS)과 간격이 일정하지 않은 기판(RS)을 이용하여 초기 성장 모드를 관찰하였다. 두 개의 다른 기판 표면을 가진 기판의 초기 성장 모드를 관찰하기 위하여 사파이어 Anti-Bragg peak의 위치에서 실시간으로 GaN 박막을 증착 시키면서 X-선 산란 강도를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

상업적으로 이용되는 사파이어 기판은 대략 0.5도 이하의 miscut angle을 가지고 있다. 이러한 miscut angle은 기판의 표면의 모양에 지대한 영향을 미친다. 본 실험에 쓰인 기판의 정확한 miscut angle을 측정하기 위해서 Bragg peak의 위치에서 시편의 위치(theta)와 Reflection 위치에서의 시편의 위치(theta)의 편차를 시편을 돌려 가면서 측정한 결과를 그림 1에 표시하였다. 실험에 사용되어진 사파이어 기판은 0.115°의 miscut angle을 가지고 있다. 사파이어 기판의 step의 높이는 2.2Å이므로 사파이어 기판은 대략 1000Å의 terrace 폭을 가지게 됨을 예측할 수 있다<sup>[6]</sup>.

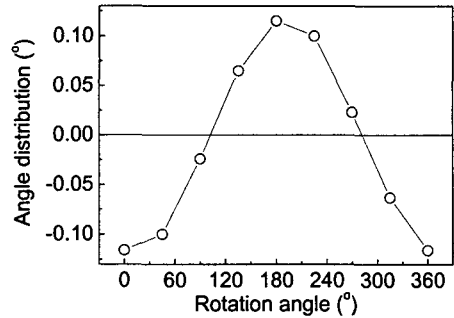


그림 1. Angle distributions with rotation angle were calculated by x-ray diffraction

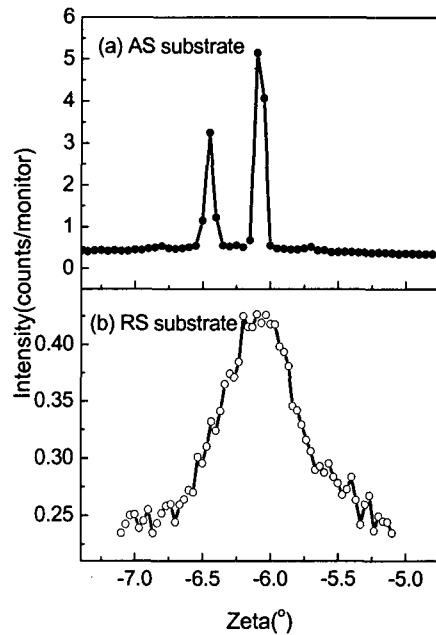


그림 2. Zeta rocking profiles at anti-Bragg position. (a) AS surface substrate has two sharp peak. (b) RS substrate has only one broad peak.

같은 miscut angle을 가지고 있는 사파이어 기판도 열처리나 제조 회사에 따라 표면의 상태가 다르게 존재한다. 기판의 표면의 상태를 정밀하게 알

아보기 위하여 Anti-Bragg peak(사파이어 (0001))의 위치에서 시편을 흔들면서 Zeta scan을 한 결과를 그림 2에 나타내었다. 기판이 넓은 terrace와 규칙적인 step의 간격을 보유하고 있을 경우 그림 2(a)와 같이 2개의 peak이 나타나게 된다. peak의 반치폭의 결과로 볼 때 terrace의 넓이는 대략 1000Å으로 앞에서 예측한 결과와 일치하고 있다. 이와 같은 기판을 regular atomic step(AS) 기판이라고 한다. 기판이 miscut angle을 가지고 있다하더라도 terrace의 넓이가 일정하지 않으면 그림 2(b)와 같이 약하고 넓은 반치폭의 peak가 나타난다. 이와 같은 기판을 random atomic step(RS) 기판이라 한다.

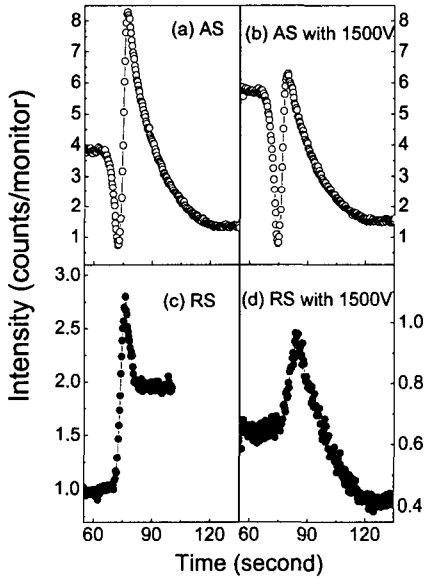


그림 3. The intensity profiles at anti-Bragg position during GaN nucleation layer with AS and RS surface substrate

각기 다른 표면을 가진 기판 위에 증착 되어지는 GaN layer의 성장 모드를 보기 위하여 anti-Bragg peak의 위치에서 X-선 산란의 강도를 측정하였다. 또한 플라즈마로 생성된 질소의 ion 효과를 보기 위하여 R.F. 플라즈마 생성기 앞에 고전압을 걸어 질소 이온을 제거하여 효과를 측정하여 그림 3에 표시하였다. AS 기판위에 GaN 성장시 ant-Bragg peak의 X-선 산란의 강도는 한번의 주

기를 보인다. 즉 GaN layer가 기판에 증착할 때 첫번째 layer의 성장 모드는 layer-by-layer의 형태를 가진다는 것을 알 수 있다. 반면 RS 기판위에 성장된 GaN layer 경우 X-선 산란 강도가 증가한 후 지속적으로 감소한다. 즉 기판의 표면에 움푹 패어진 장소를 GaN 원자들이 채워서 평평한 면을 만든 후에 3D island 형태로 성장하게 된다.

질소 이온의 효과를 보기 위하여 R.F 질소 플라즈마 생성기 앞에 고전압을 걸어 주고 초기 반응을 관찰하였다. AS 기판과 RS 기판 모두 초기 반응의 시간이 2초, 8초로 지연되어서 일어난다. 즉 이온화된 질소가 초기 GaN 원자가 기판위에 쉽게 증착 되도록 도와줌을 알 수 있다.

#### 4. 결론

PEMBE(plasma enhanced molecular beam epitaxy)방법으로 성장된 GaN 박막의 초기 거동현상을 실시간 X-선 산란을 이용하여 관찰하였다. 표면이 원자계단(atomic step)을 이루고 있는 사파이어 기판 위에 성장하는 GaN 박막은 layer-by-layer 모드로 성장 후 3D 모드로 성장을 하였다. 거친 표면을 가진 사파이어 기판 위에 성장하는 GaN 박막은 성장 초기는 표면을 평평하게 만든 후 3D 모드로 성장하였다.

플라즈마로 생성된 이온화된 질소는 표면의 에너지를 변화시켜 GaN 박막의 증착을 증진시키고, 표면의 coverage을 증가시킨다. 상기 결과로서 Zhiqiang Li 그룹에서 발표한 AS 기판을 이용한 경우 양질의 GaN 박막을 얻을 수 있다는 결과에 대한 정확한 이유를 밝혀냈다<sup>[7]</sup>.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 목적기초연구(R05-2004-10675-0) 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] Shuji Nakamura, "The Roles of Structural Imperfections in InGaN-Based Blue

Light-Emitting Diodes and Laser Diodes",  
Science Vol. 281, p. 956 (1998)

- [2] Hadis Morkoc, "III-Nitride semiconductor growth by MBE", Journal of materials science Vol. 12, p. 677(2001) T. W. Choi and S. C. Yoo, "Electrical and mechanical properties of ceramics", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 15, No. 1, p. 10, 2001.
- [3] R. Dimitrov, M. Murphy, J. Smart, W. Schaff, J. R. Shealy, L. F. Eastman, O. Ambacher, and M. Stutzmann, "Two-dimensional electron gases in Ga-face and N-face AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> heterostructures grown by plasma-induced molecular beam epitaxy and metalorganic chemical vapor deposition on sapphire" J. Appl. Phys. Vol. 87(7), p. 3375 (2000)
- [4] Sung-Hwan Cho, Hajime Okumura, and Katsuhiro Akimoto, "Comparison of excited nitrogen sources for molecular beam epitaxy Ga<sub>N</sub> growth: Radio frequency and electron cyclotron resonance plasma sources", Appl. Phys. Lett. Vol. 76(26), p. 3861 (2000)
- [5] R.L. Headrick, S. Kycia, Y. K. Park, A. R. Woll and J. D. Brock, "Real-time x-ray scattering measurement of the nucleation kinetics of cubic gallium nitride on  $\beta$ -SiC(001)", Phys. Rev. B Vol. 154, p. 14686 (1996)
- [6] M. Yoshimoto, T. Maeda, T. Ohnishi, H. Koinuma, O. Lshiyama, M. Shiohara, M. Kubo, R. Miura, and A. Miyamoto, "Atomic-scale formation of ultrasmooth surfaces on sapphire substrates for high-quality thin-film fabrication", Appl. Phys. Lett. Vol. 67, p.2615 (1995)
- [7] Zhiang Li, Hyungjin Bang, Guanxi Piao, Junji Swahata, Katsuhiro Akimoto, Hiroyuki Kinoshita, Kentich Wantanabe, "Substrate roughness dependence of structural and optical properties of Eu-doped Ga<sub>N</sub> grown by gas source molecular beam epitaxy", Journal of crystal growth, Vol. 234, p. 25 (2002)