

## 후박 GaN 특성에 관한 연구 (A Study on the Thick GaN Properties)

송복식\*, 정성훈, 김영호, 홍필영, 분동찬, 김선태\*  
광운대학교 전자재료공학과  
\*대전 산업대학 재료공학과

B.S. Song, S.H.Chung, Y.H.Kim, P.Y.Hong, D.C.Moon and  
S.T.Kim\*  
Dept. of Electronic Materials Eng. Kwangwoom Univ.  
Dept. of Materials Eng. Taejon National Univ. of Technology

### Abstracts

GaN films were prepared on  $Al_2O_3(11\bar{2}0)$  substrates by hydride vapor phase epitaxy (HVPE) with  $HCl-NH_3-N_2$  gas system. The growth rate was increased with increasing the substrate temperature below  $1050^\circ C$  and decreased over the temperature, increased with growth time. The X-ray diffraction patterns showed only (0002) GaN peak. The UV-Visible spectrophotometer showed a good optical absorption and fundamental absorption occurred at  $3700\text{\AA}$ .

### 1. 서론

최근들어 III족 질화물반도체 GaN에 대한 관심이 고조되고 있는데, 그 주된 요인은 에너지 갭이 크고 원자의 결합력이 강하여 열적, 기계적, 화학적, 전기적 성질이 안정하므로 높은 전력, 높은 온도, 고주파 및 방사선 등에 대하여 저항성이 우수한 전자소자 및 광전자집적회로 등에 응용될 수 있기 때문이다.

한편, 반도체 산업분야에서 관심을 기울여 연구하고 있는 첨단기술 중의 하나는 청색과 자외선 발광소자의 개발이다. 아직까지 실용화되지 않은 청

색 발광소자의 양산과 가격의 저렴화가 실현되면 삼원색을 이용한 전 색상의 표시가 가능하므로 디스플레이의 기능을 확대할 수 있다. 또한 광정보처리에서의 응용면에서 각종 감광체의 스펙트럼 감도를 고려하면, 높은 휘도를 갖는 단파장 발광소자가 팩시밀리와 프린터 등의 광원으로 이용될 수 있으며, 매우 compact하고 높은 기록밀도를 갖는 광정보처리장치의 개발이 가능하다.

이러한 측면에서 실온에서의 직접천이형 에너지 갭이 3.4 eV인 GaN는 또 다른 III족 질화물반도체인  $AlN(6.2eV)$  또는  $InN(1.9eV)$ 와 완전한 solid solution을 만들므로, 가시영역부터 근 자외영역에 이르는 넓은 파장범위에 걸쳐 소위 밴드갭공학 (band-gap engineering)에 의하여 청색과 자외영역의 빛을 방출하는 극 단파장 발광소자를 제작하기에 적합한 소재이다.

현재 청색 발광재료로는 GaN, SiC, ZnSe등이 있다. 그러나 SiC는 간접천이형 에너지대 구조 ( $2.86eV$ )를 이루고 있으므로 양자효율이 0.02%로 매우 낮고, ZnSe와 같은 II-VI족 반도체는 II족 원소와 VI족원소의 결합에 있어서 이온결합이 높고, 결합반경이 커서 vacancy 등의 결합이 존재한다. 이러한 vacancy는 자기보상이 일어나 p형 및 n형 전도성을 갖기는 힘들다. 반면 III족 질화물로 구성된 LED는 양자효율이 2.0%로 매우 높을 뿐만

아니라, 소비전력이 낮고, 휘도가 1000배이상 밝다.

GaN는 결정성장온도에서 질소의 증기압이 높기 때문에 용액으로부터의 단결정 성장이 곤란하므로 CVPE (Chloride Vapor phase epitaxy), MOVPE(Metalorganic VPE) 및 HVPE(Hydride VPE)등의 화학기상증착법과 MBE(Molecular Beam Epitaxy)등에 의한 에피택셜성장법으로 결정을 성장하고 있다.

본 연구에서 연구할 HVPE법은 높은 성장률로 양질의 화합물 반도체 성장에 많이 사용되고 있다. Detchprohm등은 HVPE로 30~70 $\mu\text{m}/\text{h}$ 의 높은 성장률로 수백  $\mu\text{m}$ 의 후막을 성장하였다. 또한 Electrotechnical Lab의 Yoshida등은 가스 소스 MBE(GSMBE)로 GaAs기판위에 GaN박막을 성장하였다. 그러나 GSMBE는 ~0.5 $\mu\text{m}/\text{h}$ 의 낮은 성장률 때문에 후막 GaN를 얻기가 힘들다. 따라서 현재 GSMBE법으로 GaAs기판위에 Cubic과 Hexagonal GaN를 0.2~0.4  $\mu\text{m}$ 의 두께로 박막 성장후, HVPE법으로 후막 GaN를 성장시키는 방법을 시도하고 있으나 큰 성과를 얻지 못하고있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 HCl-NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub> 가스계를 이용하여 사파이어 (1120)기판 위에 후막 GaN를 성장시켜 청색발광 LED 및 LD에 사용되는 순수 GaN특성을 제공하고자 한다.

## 2. 실험

III족 질화물반도체 GaN의 성장은 직접 설계·제작한 HVPE장치를 사용한다. 그림 1은 본 연구에서 GaN결정을 성장하는데 사용될 HVPE장치 및 전기로 내의 온도구배를 나타냈다. 저온부는 약 770°C로 유지시키고 Ga를 담은 석영보트를 위치시키고 IICI가스와 반응시켜 GaCl<sub>3</sub>가 형성되도록 한다. 한편 950~1100°C로 유지된 고온 영역에는 앞서 형성된 GaCl<sub>3</sub>와 IICI이 서로 분해 반응이 이루어지도록 하며, 이곳에 위치한 사파이어 기판위에 결정이 성장되도록 한다.

본 연구에서는 HCl 및 NH<sub>3</sub> flow rate를 각각 3cc/min, 500cc/min으로 고정시켰으며, IICI 캐리어 가스로는 300cc/min의 N<sub>2</sub>가스를 공급한다. 또한 전체 캐리어 가스는 2700cc/min으로하였다. 증착시간은 10, 20, 40, 60분간 변화시켰으며, 기판온도는 950°C부터 1100°C까지 50°C씩 변화시키면서 증착하였다. 이러한 조건을 변화시키면서 각 증착조건에 따른 XRD, 표면 및 증착단면과 흡수도를 조사하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 시간을 10분간 고정시키고 기판온도 950°C부터 1100°C까지 변화시켰을 때 증착율을 나타냈다. 기판온도가 950°C일 때 약 5 $\mu\text{m}$ 에서 1050°C일 때 12.5 $\mu\text{m}$ 로 기판온도가 증가함에 따라 증가하였으나 1100°C에서는 다시 감소하였다. 기판온도가 증가함에 따라 증착된 막은 엷은 황색에서 특징이없는 투명한색으로 변화하였다. 이러한 결과는 VPE법으로 GaAs를 성장시킬 때 나타나는 결과와 마찬가지로 NH<sub>3</sub>로부터 분해된 수소원자의 부분압이 GaN성장율을 감소시키는 것으로 보고된다.

그림 3은 기판온도를 1050°C와 1100°C로 고정시키고 시간을 10, 20, 40, 60분씩 변화시켰을 때 시간에 따른 증착율을 나타냈다. 증착율은 시간이 증가함에 따라 선형적으로 증가하였으며 1050°C에서 평균 증착율은 40 $\mu\text{m}/\text{h}$ 이었고, 1100°C에서는 32 $\mu\text{m}/\text{h}$ 이었다.

그림 4(a)는 기판온도 1050°C에서 40분간 성장시킨 GaN의 표면사진이다. 표면은 온도가 증가할수록 더 양호한 특성을 나타냈으며, 그림 4(b)는 단면으로서 아주 평탄하고 균일한 표면을 얻을 수 있었다.

그림 5는 기판온도가 1050°C일 때 성장된 GaN의 XRD패턴을 나타냈다. 증착된 GaN막은 34°에서 Hexagonal 구조의 (0002)방향의 피크만 관찰되었고, 격자상수  $c = 5.187\text{\AA}$ 이었다..

그림 6은 1050°C에서 성장된 40 $\mu\text{m}$ 두께인 GaN막의 광흡수도를 나타냈다. 막의 두께 및 증착온도에 관계없이 모두 3700 $\text{\AA}$ 에서 기초흡수가 일어났으며 이때의 광학적에너지 갭은 3.35eV이었다.

## 4. 결론

HVPE방법을 이용하여 후막 GaN막을, 사파이어 (1120)기판 위에 Hexagonal GaN박막을 성장하였다. 성장 조건은 성장 시간을 10분에서 60분까지 변화시켰고, 기판온도는 950°C에서 1150°C까지 변화시켰다.. 성장된 막은 증착온도가 증가할수록 투명한 특징이없는 거울면을 보였으며, 기판 온도 1050°C까지는 증가할수록 증착율은 증가하였으며, 그 이상의 온도에서는 감소하였다. 또한 시간이 증가할수록 증착율은 증가하였으며, X선 조사 결과 (002)방향의 피크만 관찰되었고 격자상수는 5.187 $\text{\AA}$ 이었다. 광흡수도 조사결과 기초흡수는 3.35eV 부근에서 일었다.

## 5. 참고문헌

1. R. F. Davis, "III-V nitrides for electronic and optoelectronic applications.", Proc. IEEE, 79, 702(1991)
2. I. Akasaki and M. Hasimoto, "Future aspects on blue light-emitting diode.", J. Inst. Electron and Commun. Eng, 69, 487 (1986)
3. O. Madelung, Data in Science and Technology Semiconductors, (Springer-Verlag, Berlin, (1991) pp.69~72 and 86~91.
4. M. J. Paisley, Z. Sitar, J. B. Posthill and R. F. Davis, "Growth of cubic phase gallium nitride by modified molecular beam epitaxy.", J. Vac. Sci. Tech. A, 7, 701 (1989)
5. Z. Sitar, M. J. Paisley, B. Yan, R. F. Davis and J. Ruan, "AlN/GaN superlattices grown by gas source molecular beam epitaxy.", Thin Solid Films, 200, 311 (1991)
6. I. Akasaki, H. Amano, Y. Koide, K. Hiramatsu and N. Sawaki, "Effects of buffer layer on crystallographic structure and on electrical and optical properties of GaN and  $Ga_{1-x}Al_xN$  ( $0 < x < 0.4$ ) films grown on sapphire substrates by MOVPE.", J. Crystal Growth, 98, 209 (1989)
7. T. Detchprohm, K. Hiramatsu, K. Itoh and I. Akasaki, Jpn. J. Appl. Phys., 32, L145(1992)
8. H. Tsuchiya, T. Okahisa, F. Hasegawa, H. Okumura and S. Yoshida, "Homoepitaxial growth of cubic GaN by hydride vapor phase on cubic GaN/GaAs substrate prepared with gas source molecular beam epitaxy" Jpn. J. Appl. Phys., 33, 1747(1994)

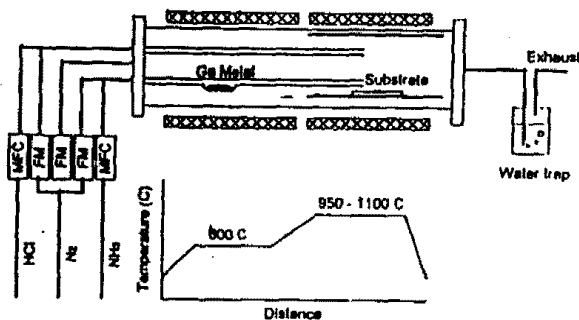


Fig.1 Schematic diagram of the HVPE growth system and temperature profile used in this work.

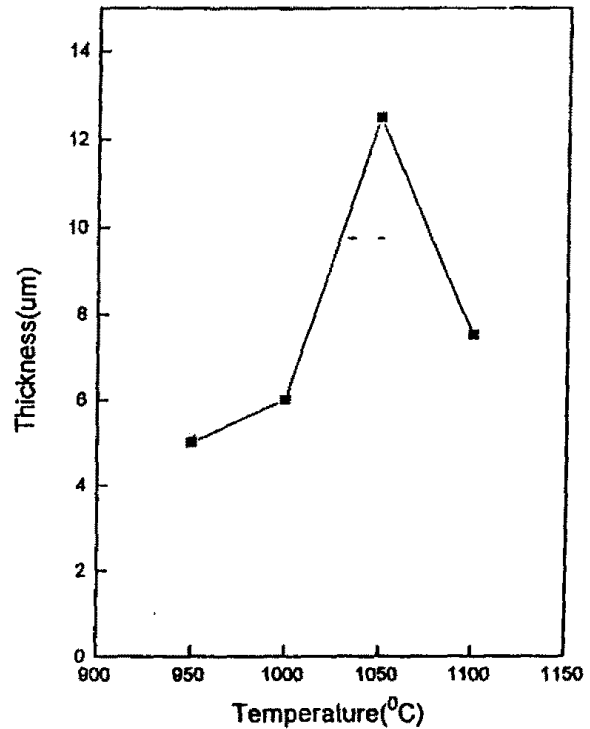


Fig.2 Dependence of the grown layer thickness on the growth temperature. (HCl=3cc/min,  $NH_3$  = 500cc/min, growth time 10 min)

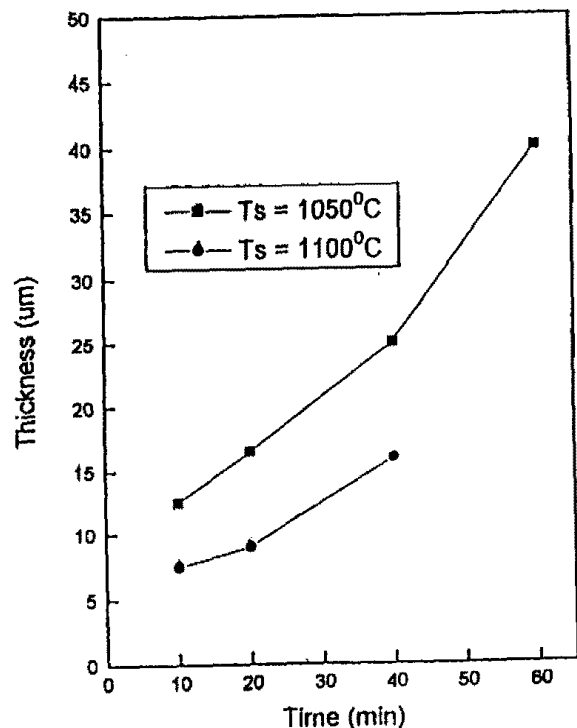
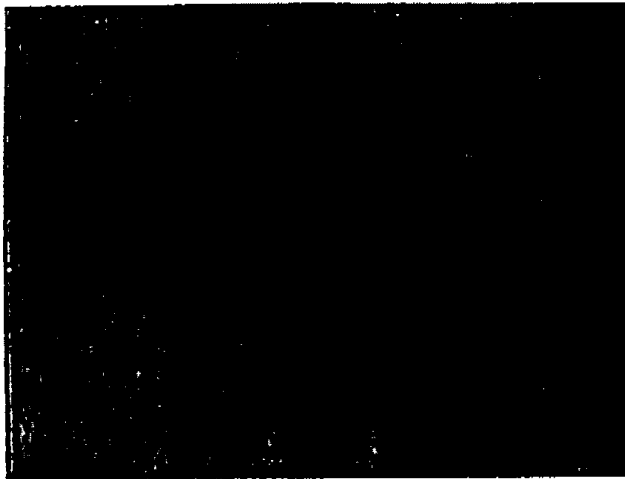
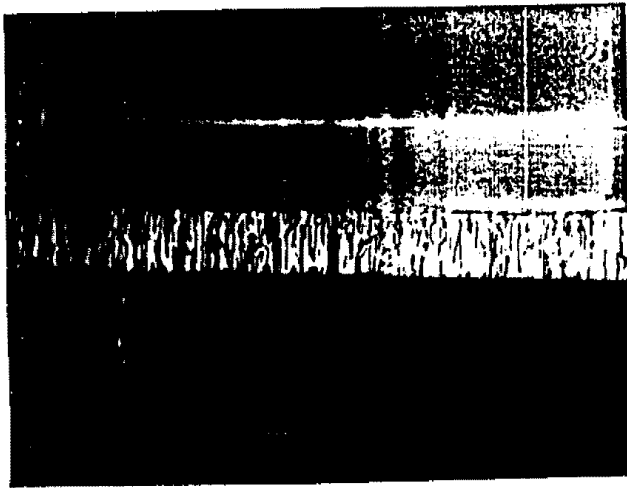


Fig.3 Dependence of the grown layer thickness on the growth time. (HCl=3cc/min,  $NH_3$  = 500cc/min, growth time 1050 and 1100°C)



(a)



(b)

Fig.4 Photograph of the grown (a) surface (b) cross section. (Growth temperature 1050°C, growth time 40min)

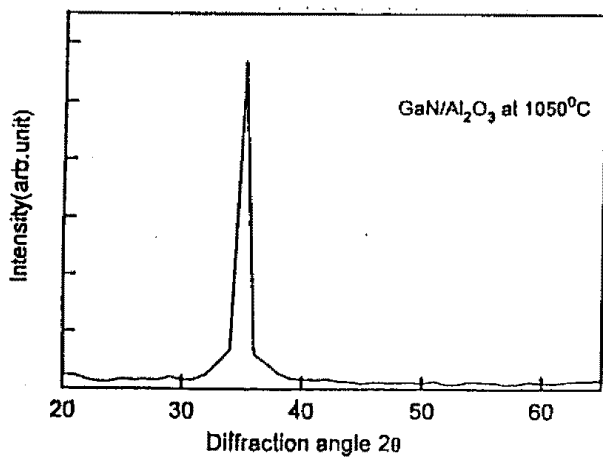


Fig.5 X-ray pattern of GaN film grown by HVPE

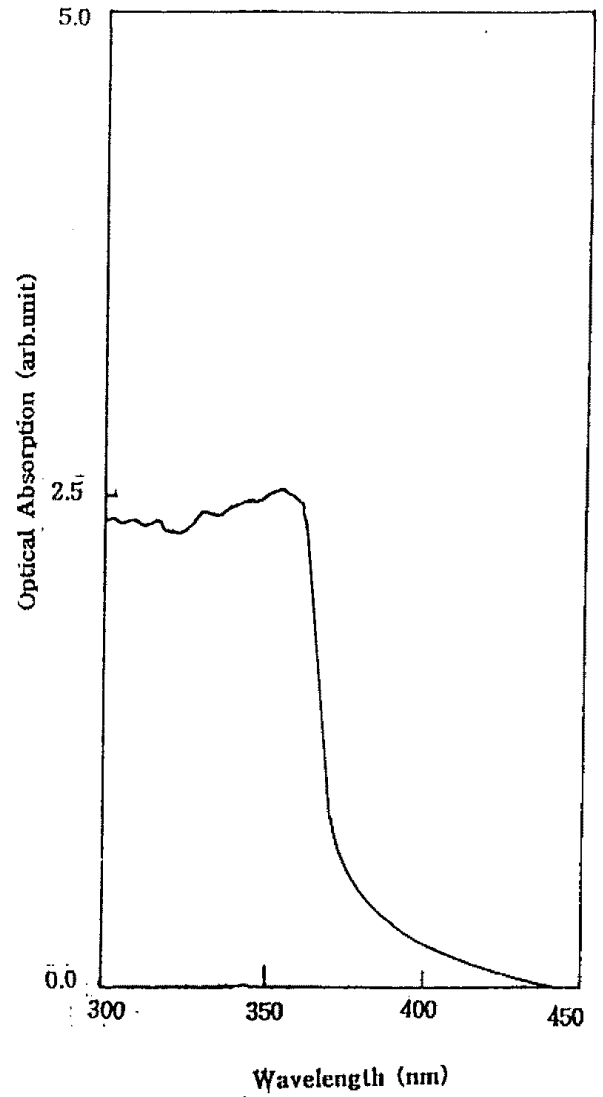


Fig.6 Optical absorbance of GaN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1120). (Growth temperature 1050°C, growth time 60min)